

การหาตำแหน่งจุดตัดนี้โดยอัตโนมัติด้วยเทคนิคการจับคู่ภาพ



นาย วีระ ลิลิตวรางกูร

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

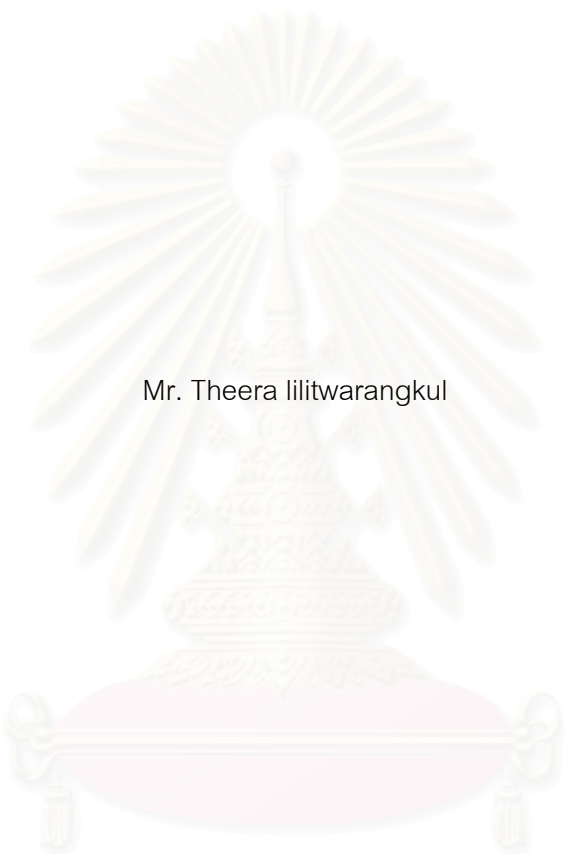
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0023-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AUTOMATIC POSITIONING OF FIDUCIAL MARKS BY THE IMAGE MATCHING TECHNIQUE



Mr. Theera lilitwarangkul

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Master of Engineering in Survey Engineering

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-17-0023-7

ธีระ ลิลิตวรางกูร : การหาตำแหน่งจุดตัดขึ้นโดยอัตโนมัติด้วยเทคนิคการจับคู่ภาพ
(AUTOMATIC POSITIONING OF FIDUCIAL MARKS BY THE IMAGE MATCHING
TECHNIQUE) อ. ที่ปรึกษา : ดร.ไพศาล สันติธรรมนนท์, จำนวน หน้า 124 หน้า.
ISBN 974-17-0023-7.

การหาตำแหน่งจุดตัดขึ้นโดยอัตโนมัติด้วยเทคนิคการจับคู่ภาพ เป็นการศึกษาเพื่อหาตำแหน่ง
ศูนย์กลางของจุดตัดขึ้นทั้ง 8 จุดบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข ด้วยวิธีต่างๆ 4 วิธีคือ วิธีการกำหนดเอง
ด้วยมือ,วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง,วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และวิธีการลีสท์สแควร์
โดยใช้วัดจุดศูนย์กลางของจุดตัดขึ้นของภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขชนิดภาพขาวดำ 8 บิต โดยภาพที่ใช้
มีความละเอียดของจุดภาพเป็น 15 , 30 และ 60 ไมครอน ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าตำแหน่งซึ่งมีทั้งแบบ
จำนวนเต็มและแบบจำนวนทศนิยมของจุดภาพ ในการวิจัยได้ทำการพัฒนาโปรแกรมเพื่อคำนวณหา
ค่าพิกัดจากวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง,วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และวิธีการลีสท์ส
แควร์ด้วยภาษา C ผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดตัดขึ้นด้วยวิธีจุดศูนย์กลาง
ถ่วง และมีการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีต่างๆในแง่ของ ความถูกต้องทางตำแหน่ง เวลาในการ
ประมวลผล และความน่าเชื่อถือของผลที่ได้

ผลจากการทดสอบพบว่าเมื่อใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อคำนวณหาค่าพิกัดที่เป็นตำแหน่ง
ศูนย์กลางของจุดตัดขึ้นโดยอัตโนมัติกับภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข พบว่าความแตกต่างของค่าพิกัดที่
ได้จากวิธีการลีสท์สแควร์มีความใกล้เคียงกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางโดยมีความแตกต่าง
เท่ากับ 0.2 จุดภาพ รองลงมาคือวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Sub pixel มีความแตกต่าง
เท่ากับ 0.4 จุดภาพ ในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางใช้เวลา
น้อยที่สุด รองลงมาคือวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และวิธีการลีสท์สแควร์ โดยเวลาที่ใช้
สำหรับแต่ละวิธีเป็น 1.5 , 1.7 และ 4.2 วินาทีต่อทั้ง 8 จุดตัดขึ้นบนภาพถ่ายทางอากาศ ตามลำดับ ใน
แง่ของความน่าเชื่อถือค่าพิกัดของจุดตัดขึ้นที่ได้จากวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง มีความใกล้เคียง
กับวิธีการกำหนดด้วยมือมากกว่าวิธีอื่นๆ

ภาควิชา.....วิศวกรรมสำรวจ..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมสำรวจ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2544.....

4170351021 : MAJOR Survey Engineering

KEY WORD: IMAGE MATCHING / CORRELATION/LEAST SQUARE MATCHING

MR. THEERA LILITWARANGKUL : AUTOMATIC POSITIONING OF FIDUCIAL

MARKS BY THE IMAGE MATCHING TECHNIQUE.THESIS ADVISOR : DR. PISAN

SANTITAMNONT, 124 PP. ISBN 974-17-0023-7.

The thesis is a study of automatically positioning of 8 fiducial marks on the digital aerial photograph using image matching technique. Four methods of finding center of fiducial marks were summarized and evaluated, namely, manual locating, center of gravity, correlation coefficient, and least square methods. All methods were then implemented and tested on 8-bit gray-scale images with the pixel size of 15 , 30 and 60 micron.The positions given from those method are integer and decimal. The research is also to develop a computer program using C language to calculate the coordinate by center of gravity, correlation coefficient, and least square methods. Then the performances of each were compared considering of precision, time consuming, and reliability.

The results revealed that when using implemented program to calculate the fiducial marks on the digital photo, By using center of gravity method as reference the center of fiducial marks from least square methods are within 0.2 pixel .The method of correlation coefficient with sub-pixel accuracy type are within 0.4 pixel. For time consumption,the center of gravity method took 1.5 second per 8 fiducial marks which is the fastest, while the correlation coefficient method and least square methods need 1.7 and 4.2 seconds, respectively. In term of reliability, the coordinate calculated from center of gravity method was mostly closed to those from manual locating method and is assumed to most reliable.

Department ..Survey Engineering Student's signature.....

Field of study..Survey Engineering Advisor's signature.....

Academic year2001.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ อาจารย์ ดร. ไพศาล สันติธรรมนนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และดร. ปกรณ์ อาภาพันธุ์ ที่กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างมากในการศึกษาวิจัยและขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ อาจารย์ ดร. อธิธิ ตริสิริสัตยวงศ์และผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิชัย เยี่ยงวีรชน ที่ให้คำแนะนำในการศึกษาวิจัยครั้งนี้และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์

ทำยนี้ คุณค่าความดีของวิทยานิพนธ์นี้ ขอมอบให้บิดามารดาที่ได้ช่วยเหลือทุกวิถีทางและให้กำลังใจตลอดมาแก่ผู้ทำวิจัย

ธีระ ลิลิตวางกูร

เมษายน 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 สมมติฐานการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	4
2.2 การหาตำแหน่งของจุดดัชนีโดยการกำหนดเอง(Manual location).....	5
2.3 การหาตำแหน่งของจุดดัชนีโดยอัตโนมัติ(Automatic location).....	6
2.2.1 การวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง(Center of gravity methods).....	7
2.2.2 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r).....	7
2.2.3 การคำนวณโดยวิธีการลีสต์สแควร์(Least Square).....	10
2.4 วิธีการปรับแก้แบบสมการค่าสังเกต.....	11
2.5 เกณฑ์สำหรับการหยุดวนซ้ำ.....	13
2.6 ค่าของตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ.....	14
2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	19
3.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย.....	19
3.3 วิธีการหาตำแหน่งของจุดดัชนีโดยการประมวลผลด้วยโปรแกรม.....	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย(ต่อ)	
3.4 แผนผังการทำงานของโปรแกรม.....	23
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
4.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	25

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2 ค่าพิกัดที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างแต่ละแบบ.....	25
4.3 ตรวจสอบโปรแกรมจากภาพที่กำหนดเอง.....	26
4.4 ผลของค่าพิกัดแต่ละจุดบนภาพถ่ายในแต่ละวิธี.....	27
4.4.1 ผลที่ได้จากการกำหนดด้วยมือ.....	27
4.4.2 ผลที่ได้จากการทดสอบโปรแกรม.....	33
4.5 ผลจากการเปรียบเทียบแต่ละวิธี.....	47
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	90
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	92
รายการอ้างอิง.....	93
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ซอร์สโค้ดของโปรแกรม.....	95
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	124



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง

4.81 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีตำแหน่งที่ 8 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิง เลขความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP	76
4.82 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีตำแหน่งที่ 8 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิง เลขความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP	77
4.83 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีตำแหน่งที่ 8 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิง เลขความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP	๗
4.84 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีตำแหน่งที่ 8 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิง เลขความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP	78
4.85 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีตำแหน่งที่ 8 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิง เลขความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP	79

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 แสดงความสว่างของภาพ Target matrix และ Search matrix.....	5
2.2 การหาตำแหน่งโดยการซูมจุดดัชนี.....	6
2.3 แสดงตำแหน่งของ pixel ที่ได้จากวิธี Nearest neighbour.....	9
2.4 แสดงตำแหน่งของ pixel ที่ได้จากวิธี Bilinear interpolation.....	9
2.5 แสดงตำแหน่งของ pixel ที่ได้จากวิธี Bicubic spline.....	10
2.6 แสดงตำแหน่งของ full pixel.....	14
2.7 แสดงตำแหน่งของ sub pixel.....	14
3.1 แสดงภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่ใช้ในการทดสอบ.....	20
3.2 แสดงภาพ Search matrix ที่ใช้ในการทดสอบที่ความละเอียดต่างๆ.....	20
3.3 แสดงภาพ Target matrix ที่ใช้ในการทดสอบที่ความละเอียดต่างๆ.....	21
3.4 แสดงตำแหน่งของจุดดัชนีบนภาพถ่ายทางอากาศ.....	21
3.5 การกำหนดขอบเขตของจุดดัชนีในการประมวลผลหาค่าพิกัด.....	22
3.6 แสดงจุดดัชนีที่เป็นภาพ Target matrix และ Search matrix ในการค่าพิกัด.....	22
3.7 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม.....	23
4.1 แสดงภาพ Target matrix และ Search matrix ที่นำมาทดสอบ.....	26
4.2 แสดงตำแหน่งของค่าพิกัดโดยวิธีการต่างๆ บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความ ละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP.....	80
4.3 แสดงตำแหน่งของค่าพิกัดโดยวิธีการต่างๆ บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความ ละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP	81
4.4 แสดงตำแหน่งของค่าพิกัดโดยวิธีการต่างๆ บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความ ละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP	82
4.5 แสดงตำแหน่งของค่าพิกัดโดยวิธีการต่างๆ บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความ ละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP.....	83
4.6 แสดงตำแหน่งของค่าพิกัดโดยวิธีการต่างๆ บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความ ละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP	ด
4.7 แสดงตำแหน่งของค่าพิกัดโดยวิธีการต่างๆ บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความ ละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP	85
4.8 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบผลต่างของค่าพิกัดทั้ง 8 จุดแบบ Sub pixel ที่ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP.....	86
4.9 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบผลต่างของค่าพิกัดทั้ง 8 จุดแบบ Sub pixel ที่ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP.....	86

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.10 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบผลต่างของค่าพิกัดทั้ง 8 จุดแบบ Sub pixel ที่ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP.....	87
4.11 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบผลต่างของค่าพิกัดทั้ง 8 จุดแบบ Sub pixel ที่ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP.....	87
4.12 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบผลต่างของค่าพิกัดทั้ง 8 จุดแบบ Sub pixel ที่ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP.....	88
4.13 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบผลต่างของค่าพิกัดทั้ง 8 จุดแบบ Sub pixel ที่ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP.....	88

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากเดิมการสำรวจด้วยภาพถ่ายที่ใช้ภาพถ่ายจากฟิล์มและทำการร่างเป็นแผนที่ โดยเครื่องร่างแผนที่โดยมนุษย์ ปัจจุบันการสำรวจภาพถ่ายก็เปลี่ยนเป็นงานสำรวจภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข(digital photogrammetry)โดยอาศัยภาพถ่ายเชิงเลข(digital image) แสดงรูป ลักษณะวัตถุและพื้นผิวของภาพตามค่าความสว่างภาพที่ได้จากการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แล้วทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์คล้ายกับการกระทำของมนุษย์ด้านการมองเห็น(vision)และการรับรู้(recognition)(Karl and Peter,1993) ซึ่งค่าความสว่างของภาพถ่ายเชิงเลขเป็นค่าที่จัดเก็บในจุดภาพ(pixel)แต่ละจุดไปตามแนวนอนและแนวตั้งที่มีลักษณะเป็นแบบราสเตอร์(raster)(John,1980)

จากเทคโนโลยีที่ทันสมัยนี้ทำให้การสำรวจด้วยภาพถ่ายสามารถใช้ภาพถ่ายเชิงเลขในรูปดิจิทัลทำการวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ ในการวิเคราะห์ภาพเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดภาพกับพิกัดภาพเชิงเลข จะทำให้การทำงานสามารถแปลงค่าพิกัดภาพเชิงเลขไปเป็นพิกัดภาพได้อย่างถูกต้องบนภาพถ่ายจากจุดดัชนี่(fiducial mark) ที่กำหนดอยู่ตามบริเวณมุมและขอบของภาพที่จะแตกต่างกันไปตามกล้องแต่ละแบบ โดยที่จุดดัชนี่มักจะมีรูปร่างและตำแหน่งที่ง่ายต่อการค้นหาและทำการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดภาพกับพิกัดภาพเชิงเลข(Wolfgang , Zoltan and Carl,1996) ดังนั้นการหาความสัมพันธ์ของภาพสองภาพโดยวิธีการจับคู่จะทำให้เราสามารถหาตำแหน่งของจุดดัชนี่ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

ดังนั้นในงานวิจัยเรื่องการหาตำแหน่งจุดดัชนี่โดยอัตโนมัติด้วยเทคนิคการจับคู่ภาพจะทำการศึกษาการหาค่าพิกัดและตำแหน่งของจุดดัชนี่จากกลุ่มของจุดภาพโดยอัตโนมัติ จากจุดดัชนี่ที่มีคุณสมบัติดังนี้คือ

- 1) มีลักษณะที่แน่นอนในแต่ละภาพถ่ายของกล้องแต่ละชนิด
- 2) มีความชัดเจนบนจุดง่ายต่อการทดสอบด้วยทฤษฎีต่างๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยเรื่องการจับคู่ภาพเพื่อประยุกต์ใช้งานในการจัดวางภาพภายในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อหาตำแหน่งค่าพิกัดของจุดตัดชันโดยวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง, วิธีสหสัมพันธ์และวิธีลีสต์สแควร์
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการจับคู่ภาพเชิงสมรภณะ
3. เพื่อตรวจสอบการคำนวณโดยการประเมินผลเปรียบเทียบจากการใช้วิธีต่างๆในการจับคู่ภาพถ่าย
4. พัฒนากลยุทธ์ในการวัดจุดตัดชันทั้ง 8 จุดบนภาพของตัวอย่างที่แพร่หลายรุ่นใดรุ่นหนึ่งโดยอัตโนมัติ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดขอบเขตของการวิจัยไว้ดังนี้

1. ทำการเปรียบเทียบการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจุดตัดชันโดยวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง, วิธีสหสัมพันธ์และวิธีลีสต์สแควร์
2. ลักษณะของจุดตัดชัน(fiducial mark)ที่ใช้ในการศึกษานี้จะทดสอบกับภาพถ่ายทางอากาศที่มีความเทา 256 ระดับ (8 บิต) ในแต่ละจุดภาพที่มีความละเอียด 15,30 และ 60 ไมครอน
3. การแสดงผลจะเป็นแบบค่าตำแหน่งของจุดตัดชันในจุดภาพที่ได้จากการใช้โปรแกรมภาษา C

1.4 สมมติฐานของการวิจัย

ในงานวิจัยเรื่องการหาตำแหน่งจุดตัดชันโดยอัตโนมัติด้วยเทคนิคการจับคู่ภาพครั้งนี้จะมุ่งทำการศึกษาการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจุดตัดชันจากการคำนวณทั้ง 4 แบบเพื่อหาตำแหน่งของจุดตัดชันโดยอัตโนมัติ โดยงานวิจัยนี้จะมีสมมติฐานดังนี้

1. ตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง, วิธีลีสต์สแควร์และวิธีการค่าสหสัมพันธ์ คือจุดศูนย์กลางของจุดตัดชัน

2. ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่ใช้ในการทดสอบจัดให้มีขอบภาพขนานกับทิศทางของการสแกน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การวิจัยครั้งนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ในการวิจัยดังนี้

1. ทำให้สามารถหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจุดดัชนีได้อย่างถูกต้องโดยอัตโนมัติ
2. เป็นการเพิ่มความรวดเร็วในการทำงานและประหยัดเวลาในการหาค่าพิกัดและตำแหน่งของจุดดัชนี
3. เป็นแนวทางในการวัดค่าพิกัดของจุดที่เหมือนกันของภาพสองภาพ

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยสามารถที่จะสรุปได้ดังนี้

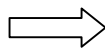
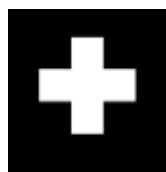
1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ image matching, โปรแกรมภาษา C และสรุปหลักการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้
2. ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อที่จะใช้ในการประมวลผลของการหาค่าพิกัดของจุดดัชนี
 - โดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
 - โดยวิธีการหาจุดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง
 - โดยวิธีสี่เหลี่ยมผืนผ้า
3. หาจุดศูนย์กลางของจุดดัชนีทั้ง 8 จุดของภาพที่กำหนดให้โดยอัตโนมัติ
4. จัดแสดงค่าของผลที่ได้จากการประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะที่ได้จากงานวิจัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

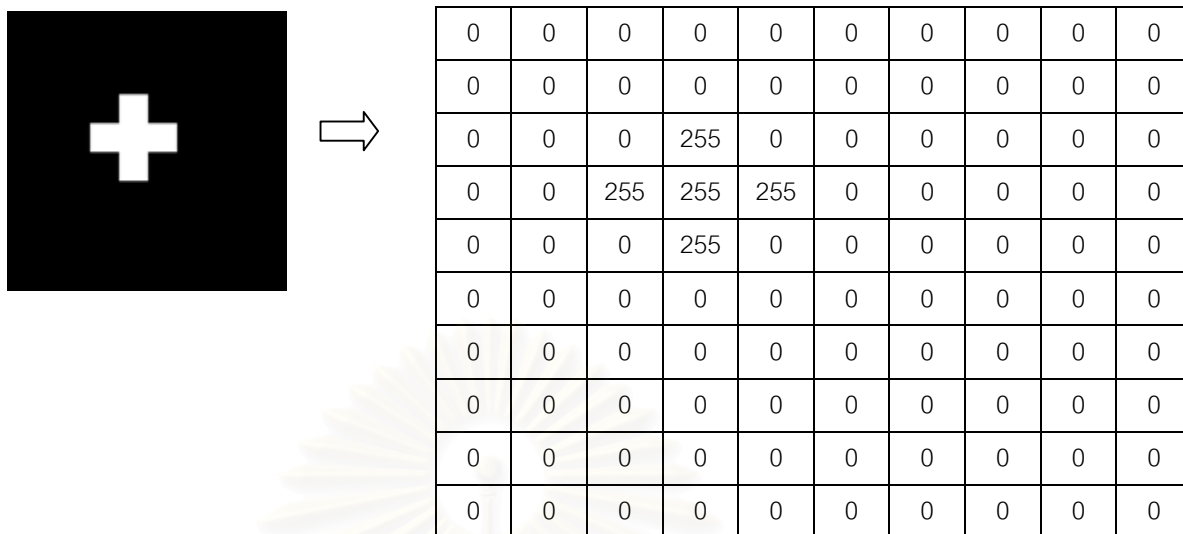
ภาพถ่ายเชิงเลข(digital image)เป็นภาพที่มีขนาด 2 มิติเป็นช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสเรียงต่อกันไปในแนวตั้งและแนวนอนเรียกว่าจุดภาพ(pixel) โดยในแต่ละช่องจะมีค่าความสว่างของภาพที่กำหนดไว้ในแต่ละภาพซึ่งแต่ละจุดภาพจะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ตามความละเอียด(resolution)ของภาพว่าต้องการถ่ายภาพเพื่อประโยชน์ในงานลักษณะใด ภาพถ่ายเชิงเลขจะได้มาจากการถ่ายภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพเชิงเลข(Digital Camara)ที่ทำการถ่ายภาพเป็นแบบภาพถ่ายเชิงเลขหรือภาพจากการถ่ายภาพที่เป็นฟิล์มก็สามารถนำมาทำให้เป็นภาพถ่ายเชิงเลขได้ โดยการสแกนภาพถ่ายทางอากาศให้มีขนาดความละเอียดตามต้องการจากเครื่องสแกนที่จะทำการสแกนภาพถ่ายไปตามแนวแกน x และแกน y ทั้งภาพ จากนั้นก็สามารถที่จะนำภาพถ่ายที่ได้ทำการสแกนนำไปประมวลผลในเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ ทำให้ในปัจจุบันนี้การทำงานด้วยภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขมีความถูกต้องและรวดเร็วยิ่งขึ้นตามลำดับ ดังนั้นในการทำงานเพื่อหาตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัชนี(fiducial mark) ที่อยู่บริเวณมุมและขอบของภาพถ่ายทางอากาศทั้ง 8 จุดที่ต้องการทราบตำแหน่งค่าพิกัดของจุดดัชนีบนภาพถ่ายซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการจัดวางภาพภายใน(interior orientation) ที่จะใช้ในการหาค่าพิกัดของจุดต่างๆบนภาพถ่ายต่อไปนั้น จากวิธีการเดิมที่จะทำการกำหนดค่าพิกัดโดยการประมาณจากสายตาของมนุษย์(Karl and Peter,1997) ก็จะสามารถประมวลผลคำนวณได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งวิธีการจับคู่ภาพเป็นวิธีการที่รวดเร็ว โดยรูปภาพที่เป็นตำแหน่งของจุดดัชนีที่เป็นเป้าหมายในการหาค่าพิกัดจะเรียกว่า Search matrix ส่วนรูปภาพที่เป็นบริเวณที่มีลักษณะคล้ายกับภาพ Search matrix ของจุดดัชนีที่มีขนาดภาพเล็กกว่าจะเรียกว่า Target matrix ดังรูปที่ 2.1 แสดงค่าความสว่างของแต่ละจุดภาพที่เป็น Target matrix ขนาด 5X5 จุดภาพและบริเวณที่เป็น Search matrix ขนาด 10X10 จุดภาพดังตัวอย่างดังรูป



0	0	0	0	0
0	0	255	0	0
0	255	255	255	0
0	0	255	0	0
0	0	0	0	0

Target matrix

ค่าความสว่างของรูป Target Matrix



Search matrix

ค่าความสว่างของรูป Search Matrix

รูปที่ 2.1 แสดงความสว่างของภาพ Target matrix และ Search matrix

จากภาพที่เป็นบริเวณจุดตัดนี้ที่สนใจทั้งสองภาพคือ Target matrix และ Search matrix ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันและความสว่างใกล้เคียงกันแต่มีขนาดต่างกัน ก็สามารถที่จะนำมาหาความสัมพันธ์ของตำแหน่งค่าพิกัดจากภาพ Target matrix ใน Search matrix เพื่อหาตำแหน่งที่เป็นศูนย์กลางของจุดตัดนี้ได้จาก(Karl and Peter ,1997)มี 2 แบบคือ

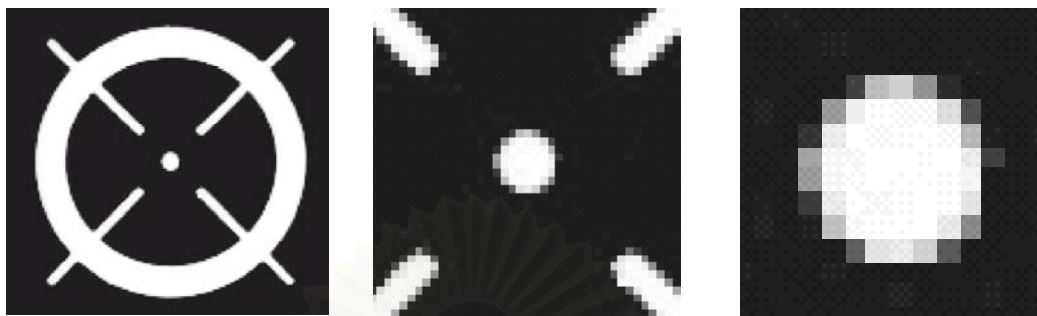
2.1 การหาตำแหน่งของจุดตัดนี้โดยการกำหนดเอง(Manual location)

2.2 การหาตำแหน่งของจุดตัดนี้โดยอัตโนมัติ(Automatic location)

2.2 การหาตำแหน่งของจุดตัดนี้โดยการกำหนดเอง(Manual location)

การกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางของจุดตัดนี้โดยการกำหนดเอง จะทำโดยการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยในการแสดงภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ทำให้การแสดงผลออกมาอาจจะมีผลที่มีความละเอียดที่ดีหรือไม่ดีขึ้นอยู่กับความละเอียดของภาพและความละเอียดของจอภาพที่แสดงผล การหาตำแหน่งก็ทำได้โดยการแสดงตำแหน่งภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขออกมาให้เห็นบนจอภาพแล้วจึงทำการซูมไปที่ตำแหน่งของจุดตัดนี้จนเข้าใกล้จุดกึ่งกลางเมื่อเห็นเด่นชัดแล้วจึงทำการชี้ไปยังตำแหน่งกึ่งกลางของจุดตัดนี้เพื่อกำหนดตำแหน่งของจุดที่ใช้

เป็นตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัดชนีโดยประมาณ ดังรูปที่ 2.2 แสดงจุดดัดชนี 1 จุดจากทั้ง 8 จุดบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข



ก. จุดดัดชนีทั้งรูป

ข. จุดดัดชนีเมื่อขุมที่กึ่งกลาง

ค. จุดดัดชนีเมื่อขุม 4 เท่า

รูปที่ 2.2 การหาตำแหน่งโดยการขุมจุดดัดชนี

จากรูปข้างบนจะสามารถกำหนดตำแหน่งพิกัดของจุดดัดชนีได้ค่าเป็นจำนวนเต็มพิกเซลของตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจุดดัดชนี แต่เมื่อต้องการให้ตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัดชนีมีความถูกต้องยิ่งขึ้นควรจะให้ตำแหน่งมีค่าเป็นทศนิยม ดังนั้นก็ต้องทำการเปลี่ยนขนาดของภาพและทำการขุมค่าระดับความสว่าง(resampling)ของภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขใหม่ จากนั้นทำการขุมไปบริเวณจุดดัดชนีที่ตำแหน่งกึ่งกลางของภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขอีกครั้งเพื่อทำการกำหนดจุดกึ่งกลางของจุดดัดชนีที่ต้องการก็จะสามารถหาตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัดชนีที่มีค่าเป็นทศนิยมได้ โดยมีความถูกต้องของตำแหน่งที่ทำการกำหนดอยู่ระหว่าง 0.1-0.2 จุดภาพ ดังนั้นในการกำหนดตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของจุดดัดชนีโดยวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับความสามารถและประสบการณ์ของผู้ที่ทำการวัดหาค่าพิกัด อีกทั้งความละเอียดและขนาดของภาพที่นำมาใช้

2.3 การหาตำแหน่งของจุดดัดชนีโดยอัตโนมัติ(Automatic location)

เป็นการหาตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัดชนีจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขโดยอัตโนมัติ จากการคำนวณโดยใช้สูตรซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประมวลผลโดยการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะทำให้การคำนวณมีความรวดเร็วและถูกต้องยิ่งขึ้นเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัดชนี โดยค่าตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัดชนีที่ได้จะมีทั้งที่เป็นค่าจำนวนเต็มและค่าที่เป็นทศนิยมซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้ในการคำนวณมี 3 วิธีคือ

2.3.1 การวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง

(Center of gravity methods, cg)

2.3.2 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

(correlaton coefficient, r)

2.3.3 การคำนวณโดยวิธีการลีสต์สแควร์

(LeastSquare Matching,LSM)

2.3.1 การวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง(Center of gravity methods)

เป็นการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจุดดัชนีจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของจุดดัชนีเพียงภาพเดียวบนภาพ Search Matrix บริเวณที่เป็นกึ่งกลางของจุดดัชนี ซึ่งวิธีการคำนวณก็นำความสว่างของจุดภาพและระยะทางแนวนอนและแนวตั้งของตำแหน่งจุดภาพแต่ละจุดที่สัมพันธ์กับความสว่างในพิกเซลนั้นที่จะนำมาคำนวณหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจุดดัชนีดังสมการข้างล่างนี้

$$\bar{x} = \frac{\sum_{r=0}^R \sum_{c=0}^C g(r,c) \times x(r,c)}{\sum_{r=0}^R \sum_{c=0}^C g(r,c)}, \bar{y} = \frac{\sum_{r=0}^R \sum_{c=0}^C g(r,c) \times y(r,c)}{\sum_{r=0}^R \sum_{c=0}^C g(r,c)} \quad \dots\dots\dots(1)$$

โดยที่

$g(r,c)$ = ค่าระดับความเข้มของสีที่จุดภาพใดๆ

$x(r,c), y(r,c)$ = ค่าตำแหน่งของจุดภาพที่อ้างอิงจากแกนพิกัด

\bar{x}, \bar{y} = ค่าตำแหน่งของจุดภาพที่เป็นตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัชนีที่อ้างอิงจากแกนพิกัดทางแนวนอนและแนวตั้ง

r,c = จำนวนแถวและคอลัมน์ของ Target matrix

ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วงนี้จะทำให้ได้ค่าตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของจุดดัชนีที่ได้เป็นค่าทศนิยม(floating point)ทั้งทางแนวตั้งและแนวนอน

2.3.2 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(correlaton coefficient,r)

การคำนวณหาความสัมพันธ์ของภาพถ่ายทั้งสองภาพที่เป็น Target matrix และ Search matrix จากค่าความสว่างแต่ละจุดภาพของทั้ง 2 ภาพโดยที่ภาพ Target matrix จะมีขนาดความกว้างยาวของภาพเล็กกว่าภาพ Search matrix ผลที่ได้จะแสดงในรูปของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้จากความสว่างของแต่ละภาพในจุดภาพของทั้ง 2 ภาพนำมาคำนวณในรูปแบบของค่า standard deviation (σ_1 และ σ_2) และค่า covariance (σ_{12})ดังสมการที่ได้ดังนี้

$$r = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_1 \sigma_2} = \frac{\sum_{r=0}^R \sum_{c=0}^C (g_1(r,c) - \bar{g}_1) \times (g_2(r,c) - \bar{g}_2)}{\sqrt{\sum_{r=0}^R \sum_{c=0}^C (g_1(r,c) - \bar{g}_1)^2 \times \sum_{r=0}^R \sum_{c=0}^C (g_2(r,c) - \bar{g}_2)^2}}; -1 \leq r \leq 1 \quad \dots\dots\dots(2)$$

โดยที่ค่า

$g_1(r,c), g_2(r,c) =$ เป็นค่าระดับความเข้มของสีบนจุดภาพบน Target matrix และ Search matrix ตามลำดับ

$\bar{g}_1, \bar{g}_2 =$ เป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มจุดภาพของจุดดัชนีบนแต่ละภาพของ Target matrix และ Search matrix

$r, c =$ จำนวนแถวและคอลัมน์ของ Template matrix

หลังจากการคำนวณผลที่ได้ทำให้สามารถทราบตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัชนีจากค่าสหสัมพันธ์สูงสุด (r) ที่มีค่าอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 จากภาพถ่ายทั้งสองภาพ โดยค่าของตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัชนีที่มีค่าเป็นจำนวนเต็ม (integer)

จากวิธีการหาค่าสหสัมพันธ์ดังกล่าวที่ให้ผลของค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจุดดัชนีเป็นจำนวนเต็ม ดังนั้นเพื่อให้ตำแหน่งของค่าจุดศูนย์กลางของจุดดัชนีโดยวิธีการหาค่าสหสัมพันธ์มีความละเอียดยิ่งขึ้นซึ่งมีผลลัพธ์เป็นทศนิยม ก็อาจจะทำการขยายภาพให้มีจำนวนจุดภาพเพิ่มขึ้นบริเวณจุดดัชนีแล้วทำการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจุดดัชนีโดยวิธีการหาค่าสหสัมพันธ์เช่น เมื่อเดิมบริเวณดังกล่าวมีขนาด 100×100 จุดภาพ เมื่อทำการขยาย 8 เท่าจะทำให้ 1 จุดภาพมีเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 8 จุดภาพดังนั้นก็ทำให้บริเวณดังกล่าวมีขนาดเป็น 800×800 จุดภาพ ซึ่งทำให้บริเวณที่ทำการขยายต้องมีการสุ่มระดับสีขึ้นมาใหม่เรียกว่า resampling ซึ่งมีอยู่ 3 วิธีคือ (Jörg and Walter, 1989:253-254)

- 1) Nearest neighbour เป็นการสุ่มระดับสีจากจุดภาพเก่าที่อยู่ใกล้เคียงกับจุดภาพใหม่ที่พิจารณาในภาพถ่าย

โดยที่

$A'_{k,l} =$ ระดับความเข้มของสีตำแหน่ง

บนจุดภาพใหม่

$A_{i,j} =$ ระดับความเข้มของสี

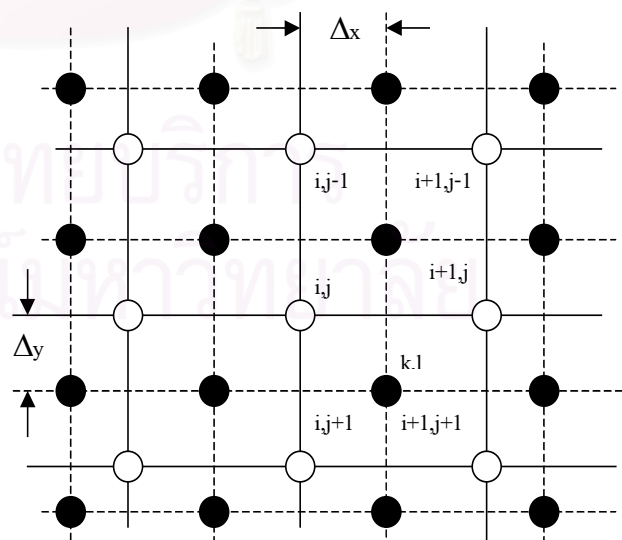
ตำแหน่งบนจุดภาพเก่า

$A'_{k,l} = A_{i,j} (\Delta x < 0.5 \ \& \ \Delta y < 0.5)$

$A_{i+1,j} (\Delta x \geq 0.5 \ \& \ \Delta y < 0.5)$

$A_{i,j+1} (\Delta x < 0.5 \ \& \ \Delta y \geq 0.5)$

$A_{i+1,j+1} (\Delta x \geq 0.5 \ \& \ \Delta y \geq 0.5)$



รูปที่ 2.3 แสดงตำแหน่งของ pixel ที่ได้จากวิธี Nearest neighbour

- 2) Bilinear interpolation เป็นการสุ่มระดับสีที่จะพิจารณาจุดภาพเก่าที่อยู่รอบๆ 4 จุดภาพของจุดภาพใหม่ที่พิจารณา

โดยที่

$A'_{k,l}$ = ระดับความเข้มของสีตำแหน่ง

บนจุดภาพใหม่

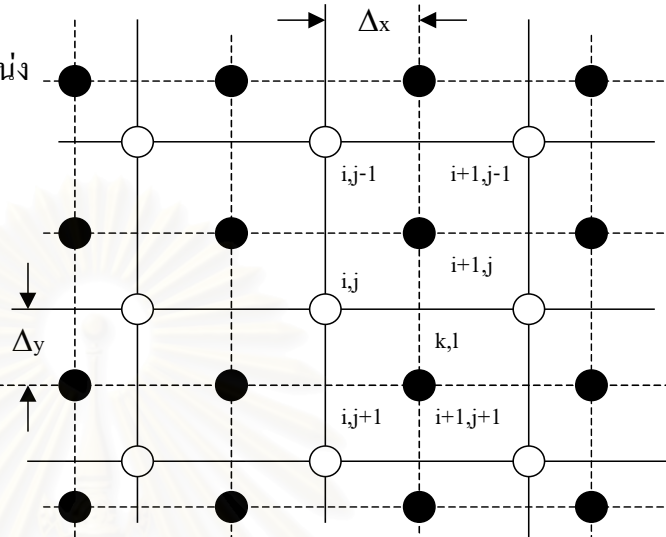
$A_{i,j}$ = ระดับความเข้มของสี

ตำแหน่งบนจุดภาพเก่า

$$A'_{k,l} = A_{i,j} + (A_{i+1,j} - A_{i,j}) \Delta x +$$

$$(A_{i,j+1} - A_{i,j}) \Delta y + \Delta x \cdot \Delta y$$

$$(A_{i,j} - A_{i+1,j} - A_{i,j+1} + A_{i+1,j+1})$$



รูปที่ 2.4 แสดงตำแหน่งของ pixel ที่ได้จากวิธี Bilinear interpolation

- 3) Bicubic spline คล้ายกับวิธี Bilinear interpolation แต่จะพิจารณาจุดภาพเก่าที่อยู่รอบๆ จุดภาพใหม่ที่พิจารณาโดยขึ้นอยู่กับ 16 จุดภาพบนภาพเก่าที่ใกล้เคียงจุดภาพใหม่

โดยที่

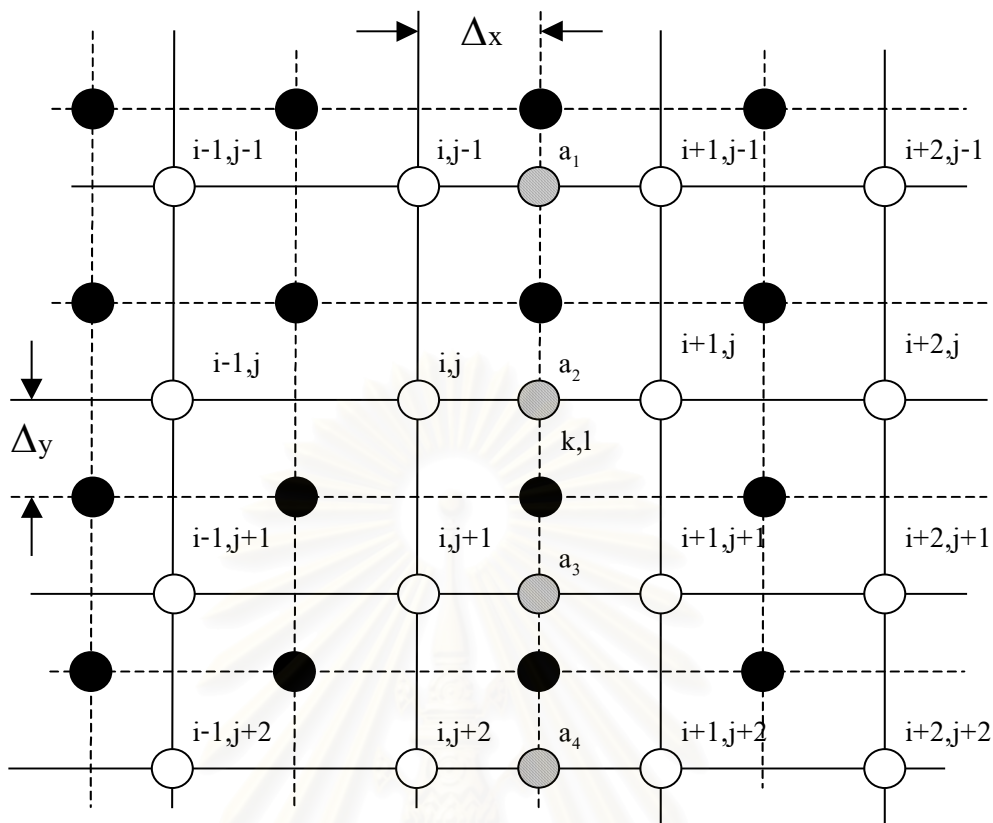
$A'_{k,l}$ = ระดับความเข้มของสีตำแหน่งบนจุดภาพใหม่

$A_{i,j}$ = ระดับความเข้มของสีตำแหน่งบนจุดภาพเก่า

$$a_n = A_{i-1,j+n-2} \cdot f(\Delta x+1) + A_{i,j+n-2} \cdot f(\Delta x) + A_{i+1,j+n-2} \cdot f(\Delta x-1) + A_{i+2,j+n-2} \cdot f(\Delta x+2) \quad (n=1,2,3,4)$$

$$A'_{k,l} = a_1 \cdot f(\Delta y+1) + a_2 \cdot f(\Delta y) + a_3 \cdot f(\Delta y-1) + a_4 \cdot f(\Delta y-2)$$

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 แสดงตำแหน่งของ pixel ที่ได้จากวิธี Bicubic spline

2.3.3 การคำนวณโดยวิธีการลีสทส์แควร์(Least Square Matching)

เป็นการหาความสัมพันธ์ของภาพระหว่างภาพ 2 ภาพที่ต้องการจับคู่เพื่อหาตำแหน่งของบริเวณที่มีความสว่างใกล้เคียงกัน ซึ่งจะประกอบไปด้วยความสัมพันธ์ 2 ส่วนในคือ ความสัมพันธ์ทางด้านเรขาคณิต(geometric model)จากตัวแปรทั้ง 6 ตัวที่ได้จากสมการ Affine Transformation และทางด้านความสว่าง(radiometric model)จากตัวแปรทั้ง 2 ตัว ซึ่งความสว่างของภาพที่หนึ่งหรือที่เป็นภาพ Target matrix จะให้เป็นค่าสังเกต(observation) ส่วนความสว่างในภาพที่เป็นภาพ Search matrix จะให้เป็นค่าคงที่และขนาดของภาพที่ทำการหาตำแหน่งค่าพิกัดของจุดดัชนีของภาพ Target matrix กับภาพ Search matrix จะมีขนาดเท่ากัน อีกทั้งมีค่าความสว่างของภาพทั้ง 2 ที่ใกล้เคียงกัน เพื่อที่จะทำการคำนวณหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจุดดัชนีให้ได้ผลลัพธ์เป็นค่าตัวแปรของสมการ Affine Transformation ทั้ง 6 ค่าที่จะนำมาคำนวณหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจุดดัชนีที่มีค่าเป็นทศนิยม ซึ่งการหาความสัมพันธ์ของภาพทั้งสองภาพจะได้จากการปรับแก้ของสมการดังข้างล่างนี้

$$\bar{X} = a_0.x + a_1.y + a_2 \text{ และ } \bar{Y} = b_0.x + b_1.y + b_2 \quad \dots\dots\dots(3)$$

โดยที่

$a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ = ค่าพารามิเตอร์ของสมการ Affine Transformation

\bar{X}, \bar{Y} = ตำแหน่งของจุดภาพใหม่

x, y = ตำแหน่งของจุดภาพเดิม

อีกทั้งถ้าภาพทั้งสองมีความสว่างไม่เท่ากันก็จะทำการปรับค่าความสว่างของภาพจากสมการ

$$\bar{g}_2 = r_0 + r_1 g_2 \quad \dots\dots\dots(4)$$

โดยที่

r_0, r_1 = ค่าพารามิเตอร์ในการปรับแก้ความสว่างของภาพ

g_2 = ความสว่างของภาพเดิม

\bar{g}_2 = ความสว่างของภาพใหม่

จากนั้นจึงทำการปรับแก้เพื่อทำการหาค่าพารามิเตอร์ทั้ง 8 ตัวของสมการทั้งสองสมการเพื่อที่จะนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าตำแหน่งศูนย์กลางของจุดตัดนี้จากสมการ“Affine Transformation” หลังจากที่ทราบค่าพารามิเตอร์แล้ว

2.4 วิธีการปรับแก้แบบสมการค่าสังเกต(observation Equation)(วิชา จีวาลัย ,2522)

กรณีที่มีการปรับแก้ค่าสังเกตเพียงค่าเดียวในแต่ละสมการโดยค่าสังเกตเป็นฟังก์ชันของพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกรณีนี้เขียนได้เป็น

$$L_a = F(X_a) \quad \dots\dots\dots(5)$$

ซึ่งมี n สมการแต่มีตัวไม่รู้ค่า u ตัว ที่ต้องการคาดคะเนด้วยวิธีลีสต์สแควร์

ในวิธีการจับคู่โดยวิธีลีสต์สแควร์แบบสมการค่าสังเกตค่า n เป็นจำนวนของจุดภาพทั้งหมดบนภาพ Search Matrix ส่วน u เป็นตัวพารามิเตอร์ที่ต้องการทราบค่า 8 ตัว จากสมการสามารถเขียนในรูปของเชิงเส้น(linearized)ดังสมการข้อล่างนี้

$$V = AX + L \quad \dots\dots\dots(6)$$

เริ่มแรกเราจะสมมุติให้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 8 ตัวของวิธีจับคู่แบบวิธีลีสต์สแควร์มีค่าเริ่มต้นดังนี้

$$\begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ r_0 \\ r_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

ค่าสัมประสิทธิ์ของเมตริกซ์ A ได้จากการดิฟเฟอเรนเชียลสมการแต่ละพิกเซล

$${}_n A_u = \begin{bmatrix} \frac{\partial \overline{g_2}}{\partial a_0} & \frac{\partial \overline{g_2}}{\partial a_1} & \frac{\partial \overline{g_2}}{\partial a_2} & \frac{\partial \overline{g_2}}{\partial b_0} & \frac{\partial \overline{g_2}}{\partial b_1} & \frac{\partial \overline{g_2}}{\partial b_2} & \frac{\partial \overline{g_2}}{\partial r_0} & \frac{\partial \overline{g_2}}{\partial r_1} \\ \dots \end{bmatrix}$$

โดยที่

n = จำนวนจุดภาพบนภาพ Search matrix

u = ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 8 ค่าของสมการ

$$\frac{\partial \overline{g_2}}{\partial a_0} = h_x \quad \frac{\partial \overline{g_2}}{\partial a_1} = h_x x \quad \frac{\partial \overline{g_2}}{\partial a_2} = h_x y$$

$$\frac{\partial \overline{g_2}}{\partial b_0} = h_y \quad \frac{\partial \overline{g_2}}{\partial b_1} = h_y x \quad \frac{\partial \overline{g_2}}{\partial b_2} = h_y y$$

$$\frac{\partial \overline{g_2}}{\partial r_0} = 1 \quad \frac{\partial \overline{g_2}}{\partial r_1} = g_2$$

h_x = ค่าเกรเดียนต์ (gradient) ทางแกน x ของความสว่างในภาพ search matrix

h_y = ค่าเกรเดียนต์ (gradient) ทางแกน y ของความสว่างในภาพ search matrix

ส่วนค่า X คือเมตริกซ์ของพารามิเตอร์ทั้ง 8 ค่าและค่า L คือเมตริกซ์ของค่าความสว่างในพิกเซลแต่ละจุดบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข เมื่อทำการปรับแก้แล้วค่า V คือค่าเศษเหลือต้องใกล้เคียงกับศูนย์

ศูนย์

สรุปขั้นตอนการคำนวณ (วิชา จีวาลัย, 2522)

พิจารณาจำนวนพารามิเตอร์ (u) และจำนวนค่าสังเกต (n)

2.3.1 จำนวนสมการเงื่อนไข ($r = n - u$)

2.3.2 เมตริกซ์ของค่าสังเกต, L_b

2.3.3 หา $A = \frac{\partial F}{\partial X_a}$

2.3.4 ประมาณค่าพารามิเตอร์ก่อนปรับแก้ (X_0)

$$2.3.5 \quad \text{คำนวณ } L_0 = F(X_0)$$

$$2.3.6 \quad \text{หา } L = L_0 - L_b$$

$$2.3.7 \quad \text{คำนวณหาค่าเมตริกซ์ } N = A^T P A$$

$$2.3.8 \quad \text{คำนวณหาค่าเมตริกซ์ } U = A^T P L$$

$$2.3.9 \quad \text{คำนวณหาค่าเมตริกซ์ } X = -N^{-1}U$$

$$2.3.10 \quad \text{คำนวณ } V = AX + L = L_a - L_b$$

$$2.3.11 \quad \text{ค่าปรับแก้ของพารามิเตอร์ } X_a = X_0 + X$$

$$2.3.12 \quad \text{ค่าปรับแก้ของค่าสังเกต } L_a = L_b + V = L_0 + AX$$

$$2.3.13 \quad \text{ตรวจสอบค่า } V^T P V = X^T U + L^T P L$$

$$2.3.14 \quad \text{the a posteriori variance of unit weight, } \sigma_0^2 = \frac{V^T P V}{c - u} = \frac{V^T P V}{n - u}$$

2.5 เกณฑ์สำหรับการหยุดการวนซ้ำ (Criteria for Iteration Termination)

การตั้งเกณฑ์มาเพื่อที่จะเป็นตัวแทนของการแสดงว่าข้อมูลที่ทำการปรับแก้มีการลู่เข้า (Convergence) เป็นไปตามแบบจำลองที่เราทำการกำหนดไว้ ซึ่งสามารถตั้งเป็นเกณฑ์ได้ 3 แบบคือ

เกณฑ์แบบที่หนึ่ง ใช้ค่าของ σ_0^2 (หรือ $V^T P V$) โดยการทดสอบจะเปรียบเทียบ σ_0 กับค่าที่ยอมรับหรือเลือกไว้ก่อน เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่าจากรอบหนึ่งรอบใดกับรอบถัดไปกับค่าที่กำหนดไว้ หรือเปรียบเทียบจากอัตราการเปลี่ยนแปลงหากใช้ σ_0 อาจเขียนได้เป็น

$$\text{แบบที่หนึ่ง} \quad \sigma_0 < \delta_1$$

$$\text{แบบที่สอง} \quad |\sigma_{0j} - \sigma_{0j+1}| < \delta_2$$

$$\text{แบบที่สาม} \quad \left| \frac{\sigma_{0j} - \sigma_{0j+1}}{\sigma_{0j}} \right| = \left| 1 - \frac{\sigma_{0j+1}}{\sigma_{0j}} \right| < \delta_3$$

โดยที่

δ_j เป็นค่าที่กำหนดขึ้น

j เป็นจำนวนลูปที่วนซ้ำ

เกณฑ์แบบที่สอง ใช้การเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์หรือฟังก์ชันเป็นตัวกำหนดอย่างเช่น

1. ใช้ค่าตรวจแก้ของพารามิเตอร์(X) เนื่องจาก X ควรเข้าใกล้ศูนย์จึงเทียบกับปริมาณเล็กน้อยแทนด้วย ϵ

$$|X| < \epsilon$$

2. อาจจะใช้ค่าสูงสุดของ X ไม่เกิน ϵ

$$|X_{\max}| < \epsilon$$

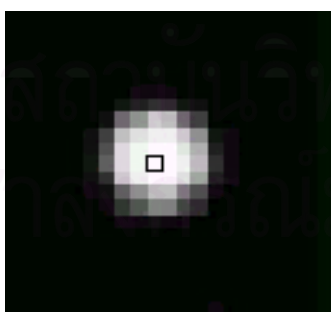
3. ใช้อัตราการใช้เปลี่ยนแปลง

$$\left| \frac{X_{i-1} - X_i}{X_i} \right| < \epsilon$$

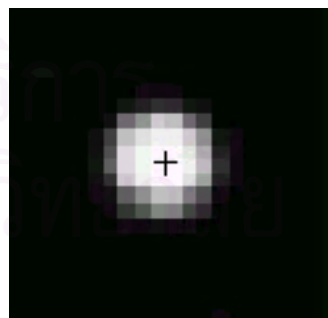
เกณฑ์แบบที่สาม เกณฑ์นี้เป็นการกำหนดจำนวนครั้งที่ทำการวนซ้ำที่เหมาะสม การกำหนดการวนซ้ำจะใช้เป็นการป้องกันการวนซ้ำมากเกินไป เนื่องจากเกณฑ์ที่ตั้งใช้ไม่ได้หรือแบบจำลองไม่เหมาะสมหรือค่าสังเกตที่ blunders หรือ gross error มาก

2.6 ค่าของตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ

ผลจากการคำนวณหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของจุดดัชนีนี้อาจจะได้ค่าตำแหน่งของจุดดัชนีที่เป็นแบบ Sub pixel หรือ Full pixel โดยที่ Full pixel เป็นค่าของจุดภาพที่ได้ค่าเป็นจำนวนเต็ม(integer)ซึ่งจะเป็นผลของการคำนวณโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และจากการกำหนดด้วยมือ ส่วน Sub pixel เป็นค่าของจุดภาพที่ได้ค่าเป็นจำนวนทศนิยม(floating point)ซึ่งจะเป็นผลที่ได้มาจากการคำนวณโดยวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางและวิธีลีสต์สแควร์ที่ทำให้ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางที่มีความละเอียดยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.6 แสดงตำแหน่งของ full pixel



รูปที่ 2.7 แสดงตำแหน่งของ sub

จากวิธีการจับคู่ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขนี้ซึ่งในส่วนของการวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าเป็นการจับคู่ภาพถ่ายของจุดดัชนีที่มีลักษณะเด่นชัดแน่นอนเห็นชัดเจน แต่การจับคู่จากภาพถ่าย

จากจุดที่เด่นชัดมีลักษณะเหมือนหรือมีความคล้ายคลึงกันทางเรขาคณิตของวัตถุเดียวกันที่มีรูปร่างแน่นอนในภูมิประเทศเรียกว่า Relation matching (Del , Antonio and Jorge, 1996) เพื่อที่จะใช้ในการศึกษาเบื้องต้นนี้จะใช้พื้นฐานของการจับคู่ภาพเป็นแบบ (Younian, 1996)

- 1) Feature based matching จากลักษณะของภูมิประเทศจากจุดที่เด่นชัดคล้ายคลึงกัน
- 2) Structure based matching จากลักษณะทางโครงสร้างที่คล้ายคลึงกันเด่นชัดออกมา

เพื่อทำการหาตำแหน่งที่ดีที่สุดที่คล้ายคลึงกันที่สัมพันธ์กัน ซึ่งทางด้านรูปร่างของวัตถุตามลักษณะทางเรขาคณิตที่จะขึ้นอยู่กับระดับความเข้มของสีจากบริเวณนั้นที่ได้ทำการถ่ายว่า จะมีลักษณะชัดเจนหรือไม่ (Chris, 1996) ในการคำนวณจึงมีความยุ่งยากมากเพราะจะต้องมีการทำงานตั้งแต่การทำภาพจาก Raster Format ไปเป็น Vector Format เพื่อทำการตรวจจับเส้นของโครงสร้างของวัตถุบนภาพถ่ายเชิงเลขแล้วจึงหาความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบของโครงสร้างที่ต้องการกับในภาพถ่ายเชิงเลขตาม ทฤษฎีที่กำหนด ดังนั้นวิธีนี้จึงกล่าวไว้ในเบื้องต้นเพื่อให้ผู้ที่สนใจและเนื่องจากระยะเวลาในการศึกษามีจำกัด ดังนั้นเทคนิคของวิธีการจับคู่วิธีอื่นๆ จะศึกษาไว้เบื้องต้นเพื่อนำไปพัฒนาต่อไปในอนาคต

2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Aluir ,Antonio and Jorge (1996) ได้ทำการหาจุดบังคับทางพื้นดินโดยวิธีการ Relational Matching โดยใช้การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างรูปทรงที่แน่นอนของวัตถุบนภูมิประเทศและความสัมพันธ์กับภาพถ่าย โดยการเปลี่ยนจาก ภาพราสเตอร์ของวัตถุและทำเป็นเวกเตอร์ จากนั้นจึงใช้คอมพิวเตอร์ในการช่วยในการมองเห็นเพื่อทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างเส้นขอบที่ได้จากการตรวจจับในลักษณะ 4 แบบคือ ขนาน ตั้งฉาก ติดต่อกัน ใกล้เคียงกัน แล้วก็หาความสัมพันธ์แบบ Uniqueness Constrain เป็นความสัมพันธ์ของภูมิประเทศระหว่าง image straight feature และ object straight feature ที่คล้ายคลึงกันกับลักษณะความเป็นจริง Rigidity Constrain รูปร่างที่แน่นอนของวัตถุในภูมิประเทศที่มีความสัมพันธ์กันใน image space กับ object space Application of Normalised Relational Distance เป็นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ที่ได้จากจุดไปอีกจุดหนึ่งตามระยะทางในเส้นของวัตถุแล้วจึงทำการตรวจสอบความสัมพันธ์โดยการใช้วิธี Chi square ผลที่ได้ค่าของความสัมพันธ์มีความถูกต้องสูงมาก

Michael , Michael and Esther (1996) ได้ศึกษาการหาจุดที่เด่นชัดโดยการใช้พื้นฐานของ feature and area matching ซึ่งในการวัดจุด interior orientation จะละเอียดหรือไม่ก็

ขึ้นอยู่กับรายละเอียดและความแตกต่างของจุดบนพื้นที่ที่เด่นชัดออกมา ในการวัดจุดโดยวิธีนี้จะใช้ความรู้ในการแปล ตรวจสอบ การเลือก การบ่งชี้ ความละเอียดของงานและการพิสูจน์โดยมนุษย์ช่วย ในการเลือกจุดควบคุมภาคพื้นดิน โดยมีขั้นตอนหลักๆคือ

1. การเลือก Template ของจุดควบคุมที่เป็นลักษณะต่างของกล้องที่ต่างชนิดกัน
2. ประมาณตำแหน่งที่เด่นชัดจากมนุษย์
3. ทำการจับคู่หาตำแหน่งที่ได้ประมาณจากการซ้อนทับของภาพถ่ายมี 2 แบบคือ
 - จาก Template และภาพถ่ายแต่ละภาพ
 - จากภาพถ่ายกับภาพถ่ายแต่ละภาพ(หลังจากTemplateและภาพถ่ายไม่สามารถหาได้)
4. วัดตำแหน่งที่ได้โดยละเอียดจากการประมาณแล้วทำการตรวจสอบจากการทดสอบพบว่า
 - จุดที่ทำการจับคู่ที่เป็นแบบรูปร่างซ้ำกันเมื่อทำการจับคู่จะมีจำนวนความสัมพันธ์มาก
 - กว่ารูปเดี่ยวๆ และถ้าเป็นเส้นตรงตัดกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมเช่นกัน
 - อีกทั้งรูปทรงแบบสี่เหลี่ยมกับสี่เหลี่ยมที่เอียงก็จะให้ค่าที่ถูกต้องมากกว่ารูปอื่นๆ
 - ค่าQ-factorที่เหมาะสมในการจับคู่คือ 100 ที่ให้ผลที่ถูกต้องถึง 98%
 - รูปทรงของจุดในTemplateที่ทำการจับคู่ที่มีรัศมีช่วง 5-6 ให้ผลที่ดีกว่าขนาดที่มากกว่านี้

Wolfgang Schickler, Zoltan Doth and Carl Ziess[1996] ได้ศึกษาการหาจุดInterior Orientationโดยอัตโนมัติซึ่งเราต้องการลักษณะของจุดที่ตรวจจับเป็นแบบ asymmetric feature ในภาพ ซึ่งถ้ามีความเข้มข้นและคล้ายคลึงกันก็จะทำการวิเคราะห์โดยวิธี binarization เพื่อทำการหาความสัมพันธ์โดย binary correlation ซึ่งมีทำงานเป็นลำดับคือ

1. Resampling of Templates เป็นการจัดความละเอียดในภาพ
2. Image pyramid derivation การกำหนดภาพขนาดต่างๆ
3. Robust localization การหาตำแหน่งที่แท้จริงอย่างน้อย 4 จุด
4. การตรวจสอบจุดกำเนิดของภาพ
5. การวัดจุดดัชนีอย่างแท้จริงโดยมีความถูกต้อง1/10พิกเซล
6. การประมาณค่าพารามิเตอร์ในการ Transformation จาก image ไปยัง plate
7. Self-diagnosis เป็นการตรวจสอบผลที่ได้

การหาตำแหน่งที่แท้จริงของจุดซึ่งมี 2 แบบคือ binary condition ที่จะขึ้นกับการจัดการความสว่างและ noise, graylevel condition เป็นการจัดภาพขึ้นอยู่กับ geometry และ radiometry อีกส่วนคือ Self-diagnosis เป็นการตรวจสอบผลที่ได้โดยการใช่วิธี hypothesis test หรือ sensitive analysis โดยจะแสดงผลในรูปแบบของสัญลักษณ์ที่เตือนผลที่ได้เรียกว่า Traffic Light Program

Yan (1996) ได้ศึกษาการหาจุด Interior Orientation และจุด Tie Point โดยอัตโนมัติโดยใช้หลักการของ Template Matching ซึ่งใช้เทคนิคของ Least square หาผลที่ดีที่สุดโดยไม่ต้องใช้มนุษย์ที่ทำการจับคู่จะกำหนดระดับของภาพเป็น 3 ระดับที่มีขนาด 512×512 จุดภาพหรือ 256×512 จุดภาพโดยมีความละเอียดต่างกันคือ 100 400 1600 micron ในการจับคู่เริ่มจาก Template ที่มีความละเอียดน้อยก่อนใน AIO (Automatic Interior Orientation) ส่วนใน ATPS (Automatic Tie Point Selection) ก็จะทำ การวัดและคำนวณโดยหลักการเช่นเดียวกัน โดยมีค่าคงที่ที่สำคัญคือ Configuration ที่ต้องการภาพอย่างน้อย 6 ภาพขึ้นไป , Accuracy ทำการใช้ Least square ในการตรวจสอบ, Reliability เป็นจุดควบคุมจริง, Number มีจำนวนอย่างน้อย 3×3 จุดต่อภาพ ผลจะทำให้ได้จุดที่ต้องการทั้งหมดและช่วยให้หาตำแหน่งในพื้นที่ยากลำบากด้วยการตรวจสอบผลดูจากค่า R.M.S.E

Bjarke (1996) ได้ศึกษาการวัดจุด Exterior/Absolution Orientation โดยการใช้แผนที่เชิงตัวเลขที่มีมาตราส่วนใหญ่ 1:5000 โดยการจับคู่กับจุดที่เด่นชัดของวัตถุ ซึ่งมีวิธีการทำงานคือ

1. การตรวจจับและปัญหาของจุดที่ใช้
2. การวัดวัตถุขนาดใหญ่ในภูมิประเทศจาก digital/topographical map

เพื่อความสมบูรณ์ของงานจะใช้ GIS สำหรับในการตรวจดูแผนที่ที่ได้จากการวาดและภาพถ่ายตั้งสำหรับใช้ในการทำแผนที่รายละเอียด เป้าหมายของวัตถุที่ใช้จะเป็นรูปเหลี่ยมจากภาพที่ทราบค่าของจุดกำเนิดโดยประมาณจากการบินถ่ายภาพเพื่อที่จะทำการหา Target Template ใช้ในการบันทึกจุดที่ต้องการ จากนั้นทำภาพถ่ายให้มีความละเอียดแตกต่างกันหลายระดับแล้วทำการจับคู่ภาพถ่าย เพื่อหาความสัมพันธ์ของภาพโดยใช้ bundle adjustment ในการคำนวณ ผลที่ได้จะได้ค่า R.M.S และ R.M.S.D. มาตรวจสอบผลในการจับคู่

ผลที่ได้จากการทดสอบพบว่าเมื่อใช้ search area ขนาด 81×81 พิกเซลในระดับความละเอียด 480 μm และขนาด 21×21 พิกเซลในระดับความละเอียด 240 120 60 30 15 μm ตามลำดับพบว่าในแผนที่มาตราส่วน 1:5000 ขนาดความละเอียดที่เหมาะสมคือ 30 μm โดยมีค่า R.M.S.D เป็นผลของมุมเท่ากับ 0.0263 gon และพิกัดของจุดกำเนิดเท่ากับ 0.355 m. และ R.M.S เป็นผลของใน image และ object space เท่ากับ 4.1 μm, และความผิดพลาดในการวัดในแผนที่เชิงตัวเลขและภาพถ่ายโดยอัตโนมัติเท่ากับ 0.148, 0.187 m. ทางราบและตั้งตามลำดับของจุดควบคุม

Joachim (2000) จากมหาวิทยาลัย Aalborg ได้สร้างโปรแกรมคือ LDIPInter เวอร์ชัน 2.0 จะเป็นโปรแกรมการวัดหาตำแหน่งโดยอัตโนมัติของภาพจากการหาความสัมพันธ์ โดยจะแบ่งออกเป็น 5 บทเรียนซึ่งเขียนโดยใช้ภาษาจาวาคิด (JDK Version 1.1) ในแต่ละบทเรียนจะมีทั้งภาคทฤษฎีและแบบฝึกหัดให้ทำบนตัวโปรแกรมเลยในการศึกษาแต่ละบท ในแต่ละแบบฝึกหัดจะเป็นการประยุกต์การวัดหาตำแหน่งอัตโนมัติของจุดตัด (จุดตัดนี้) บนภาพและการวัดจุดกำเนิด (Orientation) ของภาพถ่ายทางอากาศเพื่อทำการหาจุดอ้างอิงโดยการจับคู่ภาพ โดยตัวโปรแกรมจะรันบนอินเทอร์เนตและมีส่วนช่วยเหลือในกรณีที่ไม่เข้าใจทฤษฎีเพื่อทำการทบทวนอีกครั้ง โดยแต่ละส่วนประกอบมีรายละเอียดดังนี้

1. Theme1: Automatic Measurement เป็นการหาค่า Correlation Coefficient ของภาพ Target Matrix กับภาพ Search Matrix ที่มีความสัมพันธ์กัน
2. Theme2: Correlation in the subpixel range(1D) เป็นการหาค่าความสัมพันธ์ที่ได้ค่าตำแหน่งเป็นจำนวนทศนิยมโดยใช้วิธีการลีสท์สแควร์แบบ 1 มิติ
3. Theme3: Correlation in the subpixel range(2D) เป็นการหาค่าความสัมพันธ์ที่ได้ค่าตำแหน่งเป็นจำนวนทศนิยมโดยใช้วิธีการลีสท์สแควร์แบบ 2 มิติ(ยังไม่สมบูรณ์)
4. Theme4: Automatic measurement of real reseau image เป็นการวัดพิกัดภาพถ่าย(ยังไม่สมบูรณ์)
5. Theme5: Automatic orientation of aerial image เป็นการจับคู่ภาพเพื่อที่จะทำการหาจุดที่จะเป็นจุดอ้างอิงเพื่อให้ภาพถ่ายเป็นภาพถ่ายที่ตั้งจริง

Wanshou ,Guo and Deren (2001) ได้ทำการหาตำแหน่งของจุดดัชนีโดยการประมาณตำแหน่งของจุดดัชนีบนภาพถ่ายทางอากาศที่ใช้เป็นภาพ Search matrix ไว้ก่อนในการประมวลผลแล้วจึงทำการคำนวณหาค่าความสัมพันธ์ของแต่ละจุดบนภาพถ่ายทั้ง 12 จุดจากจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่ใช้ในที่มีขนาด 6000×4500 จุดภาพ แล้วจึงใช้สมการ affined Tranformation ในการหาตำแหน่งของจุดดัชนีแต่ละจุด

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการวิจัยนี้จะทำการเขียนโปรแกรมโดยภาษา C เพื่อที่จะใช้ในการประมวลผลเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างภาพถ่ายเชิงเลขทั้งสองภาพที่จะทำการจับคู่ในการหาตำแหน่งศูนย์กลางของจุดตัดชันของภาพถ่ายทางอากาศจากวิธีการทางทฤษฎีดังนี้

- 1) การวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง(Center of gravity methods)
- 2) การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(correlaton cofficient,r)
- 3) การคำนวณโดยวิธีการสี่เหลี่ยมผืนผ้า(Least Square Method)

เพื่อทำให้เราได้ตำแหน่งของจุดตัดชันที่ดีที่สุดโดยวิธีการคำนวณแต่ละวิธี ซึ่งจะทำให้เราทราบผลออกมาเป็นตัวเลขที่แสดงตำแหน่งเป็นค่าของจุดภาพทางแนวนอนและแนวตั้งของภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข จากจุดตัดชันของภาพถ่ายที่อยู่บริเวณรอบๆของภาพถ่ายทางอากาศเพื่อนำไปใช้ในการหาค่าพิกัดบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขต่อไป

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบไปด้วย

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ในการเขียนโปรแกรมและทำประมวลผลจากการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างภาพทั้งสองจะใช้แบบที่มีความเร็วของซีพียูระดับPentium III 500 MHz ขึ้นไปที่มีหน่วยความจำอย่างน้อย 256 Mbyte
2. ซอฟต์แวร์ในการเขียนโปรแกรมและประมวลผล
3. ตำราและเอกสารที่ใช้ในการอ้างอิงทฤษฎีที่จะใช้เขียนโปรแกรม

3.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการเขียนซอฟต์แวร์เพื่อทำการประมวลผลให้ได้ค่าพิกัดของจุดตัดชันโดยวิธีการ หาค่าสหสัมพันธ์,วิธีการหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงและวิธีการ Least square โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความเทา 256 ระดับ(8 บิต) ที่อยู่ในไฟล์รูปแบบ Bitmap(BMP) โดยมีความละเอียด 15 30 และ 60 ไมครอน ของไฟล์ภาพ 2 ภาพ โดยมีลักษณะดังนี้



ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขไฟล์ 62.BMP

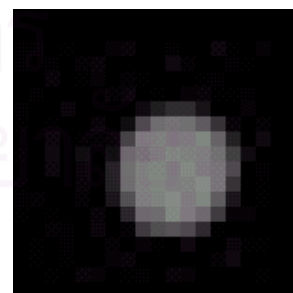
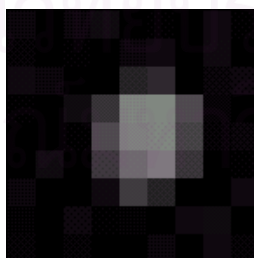


ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขไฟล์ 63.BMP

รูปที่ 3.1 แสดงภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 3.1 แสดงขนาดภาพ Target Matrix และ Search Matrix ที่ใช้ในการทดสอบ

ขนาดภาพ Target Matrix(pixel)	ขนาดภาพ Search Matrix(pixel)	Resolution (micron)
19×19	60×60	15
9×9	40×40	30
5×5	20×20	60



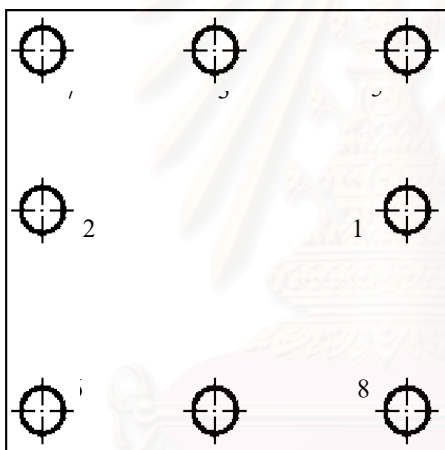
ความละเอียด 60 ไมครอน ความละเอียด 30 ไมครอน ความละเอียด 15 ไมครอน

รูปที่ 3.2 แสดงภาพ Search matrix ที่ใช้ในการทดสอบที่ความละเอียดต่างๆ



ความละเอียด 60 ไมครอน ความละเอียด 30 ไมครอน ความละเอียด 15 ไมครอน

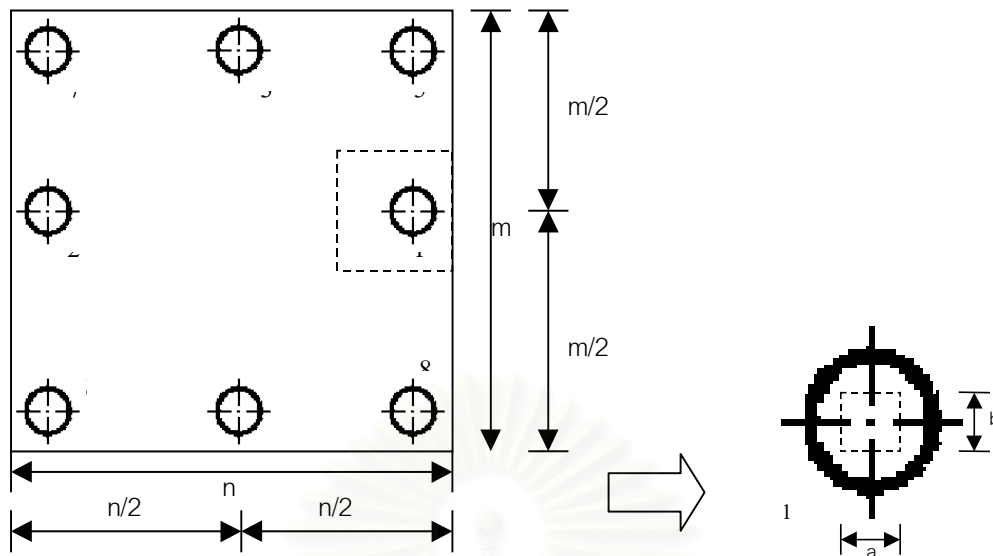
รูปที่ 3.3 แสดงภาพ Target matrix ที่ใช้ในการทดสอบที่ความละเอียดต่างๆ จำนวนจุดและตำแหน่งของจุดดัชนีบนภาพถ่ายเชิงเลขที่ทำการหาตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัชนี มีทั้งหมด 8 จุดดังนี้



รูปที่ 3.4 แสดงตำแหน่งของจุดดัชนีบนภาพถ่ายทางอากาศ

3.3 วิธีการหาตำแหน่งของจุดดัชนีโดยการประมวลผลด้วยโปรแกรม

3.3.1 ทำการกำหนดขอบเขตของจุดดัชนีทั้ง 8 จุดบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่ทำการ Search จากขนาดของภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่ทราบโดยประมาณ ซึ่งตำแหน่งของจุดดัชนีที่อยู่บริเวณมุมของภาพถ่ายจะใช้ขนาดของภาพถ่ายที่เริ่มต้นศูนย์และขนาดทั้งหมดมากำหนดตำแหน่งโดยประมาณ ส่วนจุดดัชนีที่อยู่บริเวณกึ่งกลางภาพจะใช้ขนาดของภาพหารสองมากำหนดตำแหน่งโดยประมาณ



รูปที่ 3.5 การกำหนดขอบเขตของจุดดัชนีในการประมวลผลหาค่าพิกัด
โดยที่

m, n = ขนาดของภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข

a, b = ขนาดของภาพ Search matrix

3.3.2 นำภาพ Target matrix ทำการค้นหาจากขอบเขตของจุดดัชนีที่ทำการกำหนดโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ก่อน เพื่อหาค่าสหสัมพันธ์มากที่สุดของจุดที่เป็นตำแหน่งพิกัดของจุดดัชนี

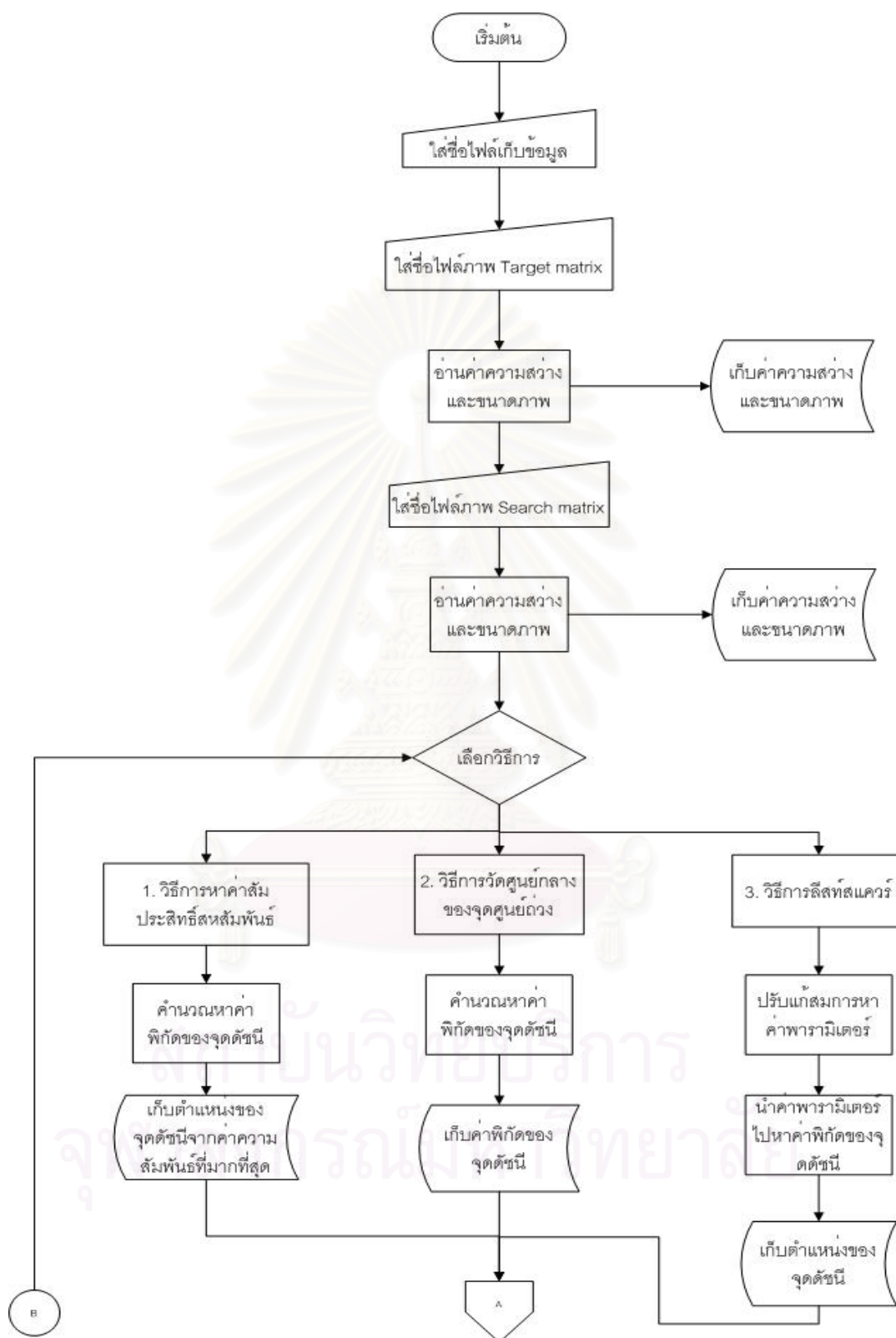


รูปที่ 3.6 แสดงจุดดัชนีที่เป็นภาพ Target matrix และ Search matrix ในการค่าพิกัด

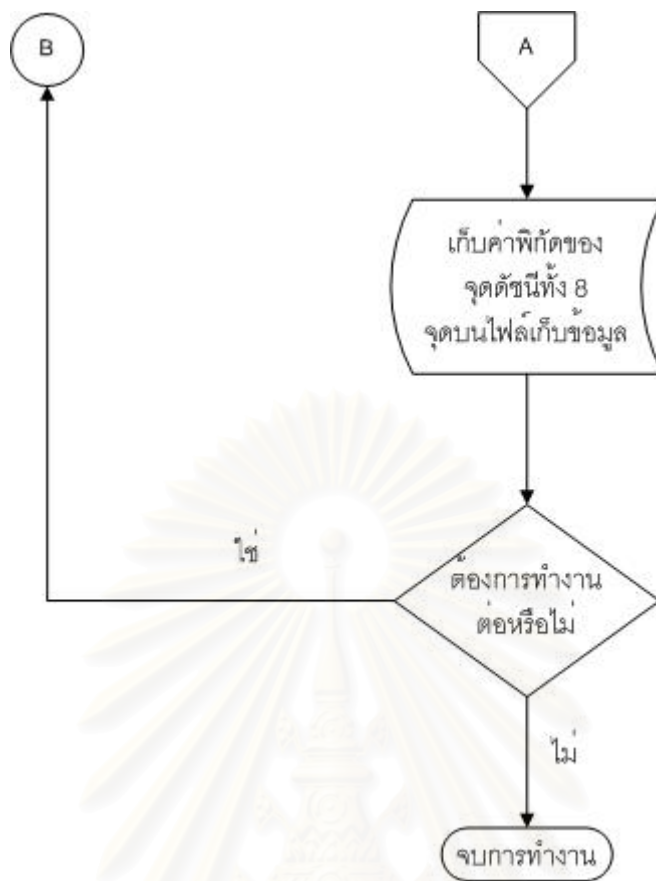
3.3.3 หลังจากนั้นทำการหาค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการวัดจุดศูนย์กลาง

3.3.4 จากนั้นก็ทำการหาค่าพิกัดโดยวิธีการสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยการหาค่าพารามิเตอร์ทั้ง 8 ค่าแล้วนำมาหาค่าพิกัดของจุดดัชนี

3.4 แผนผังการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม(ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

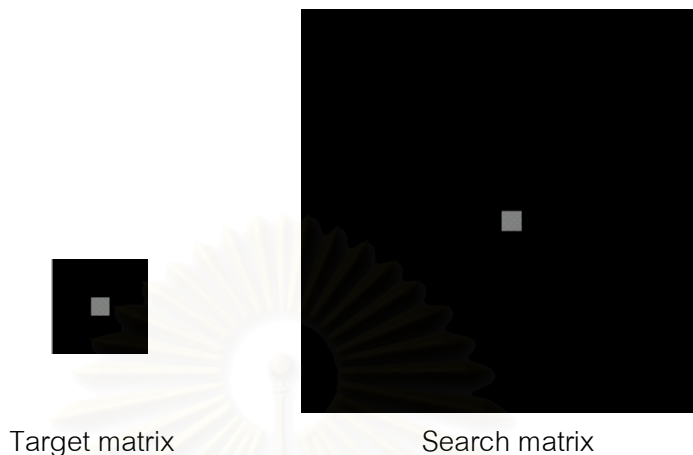
จากการวิจัยเรื่อง การหาดำแหน่งจุดตัดนี้โดยอัตโนมัติโดยวิธีการจับคู่ภาพ ซึ่งทำการทดสอบโดยการรันโปรแกรมเพื่อประมวลผลที่ได้จากการทดสอบก็คือค่าตำแหน่งศูนย์กลางของจุดตัดนี้บนภาพถ่ายเชิงเลขทั้ง 8 จุดบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความเทา 256 ระดับ (8 บิต)และมีความละเอียด 15 , 30 และ 60 ไมครอน โดยค่าพิกัดของจุดตัดนี้จะได้จากการกำหนดเองด้วยมือบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขและการเขียนโปรแกรมโดยภาษา C โดยวิธีการจับคู่แบบทั้ง 3 วิธีคือ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง(Center of gravity methods,cg) , วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation coefficient,r)และวิธีการลีสท์สแควร์(Least square Matching,LSM) ซึ่งแต่ละวิธีการจะทำการประมวลผลโดยอัตโนมัติจนเสร็จแล้วจึงทราบผลจากการคำนวณโดยการดูไฟล์ที่ได้ทำการบันทึกผลการทดสอบนั้นไว้ เพื่อให้ได้มาซึ่งตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของจุดตัดนี้บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่ใช้ทดสอบ วิธีการที่ใช้โปรแกรมก็จะทำการคำนวณหาตำแหน่งค่าพิกัดของจุดศูนย์กลางของจุดตัดนี้จากภาพที่เป็น Target matrix ที่ได้กำหนดไว้เองและภาพ Search matrix ก็คือภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่ใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างเพื่อให้ได้ค่าพิกัดของจุดศูนย์กลางของจุดตัดนี้ออกมา เมื่อได้ค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจุดตัดนี้พิกัดของแต่ละจุดออกมาในแต่ละวิธีการทั้งการกำหนดเองและจากโปรแกรมที่ได้ประมวลผลของแต่ละวิธีการก็จะนำมาเปรียบเทียบ เพื่อหาค่าความผิดพลาดของค่าพิกัดของจุดตัดนี้ทั้ง 8 จุดบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขว่าแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด

4.2 ค่าพิกัดที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างแต่ละแบบ

ค่าพิกัดตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจุดตัดนี้มีทั้งค่าจำนวนเต็มและค่าทศนิยมที่ได้มาจากการกำหนดเองและใช้โปรแกรมจับคู่ภาพที่โดยภาษา C มาทำการประมวลผลการคำนวณหาตำแหน่งพิกัดของจุดศูนย์กลางของจุดตัดนี้ โดยทำการทดสอบกับตัวอย่างภาพ Target matrix ที่ได้กำหนดไว้กับภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความเทา 256 ระดับ (8 บิต)ที่มีความละเอียด 15 , 30 และ 60 ไมครอนตามลำดับของจุดตัดนี้ทั้ง 8 จุดบนภาพถ่ายที่ใช้เป็นภาพ Search matrix ซึ่งผลที่ได้จากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นจะได้ค่าพิกัดของจุดตัดนี้แบบมีค่าเป็นจำนวนเต็ม(Full Pixel)ในวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation coefficient,r) และค่าเป็นทศนิยม(Sub Pixel)ในวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง(Center of gravity methods,cg)และวิธีการลีสท์สแควร์(Least square Matching,LSM) ส่วนผลของค่าพิกัดที่ได้จากการกำหนดเองจะมีค่าเป็นจำนวนเต็ม(Full Pixel)

4.3 ตรวจสอบโปรแกรมจากภาพที่กำหนดเอง

จากโปรแกรมที่ทำการพัฒนาขึ้นมาเพื่อหาค่าพิกัดทั้ง 8 จุดบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข เพื่อให้ค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลโดยโปรแกรมมีความถูกต้องก่อนที่จะนำไปทดสอบกับภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความละเอียดทั้ง 3 แบบคือ 15 , 30 และ 60 ไมครอนจึงได้ทำการทดสอบกับภาพที่กำหนดขึ้นเองดังรูป



รูปที่ 4.1 แสดงภาพ Target matrix และ Search matrix ที่นำมาทดสอบ

จากการทดสอบภาพที่ได้กำหนดขึ้นซึ่งมีขนาดของภาพ Target matrix เท่ากับ 5×5 จุดภาพ และภาพ Search matrix เท่ากับ 20×20 จุดภาพ ได้ค่าพิกัดของจุดกึ่งกลางดังนี้ ตารางที่ 4.1 แสดงผลค่าพิกัดของจุดจากการทดสอบด้วยโปรแกรม

วิธีการ	row(pixel)	column(pixel)	r
วิธีการกำหนดด้วยมือ	10.00	10.00	-
วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	10.00	10.00	1.00
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง	10.00	10.00	-
วิธีการลีสท์สแควร์	10.00	10.00	-

จากค่าที่ได้พบว่าโปรแกรมมีความถูกต้องจริงเพราะตำแหน่งที่ได้จากจุดเดียวกันบนภาพ Target matrix และ Search matrix ที่ขนาดต่างกันมีตำแหน่งค่าพิกัดที่ได้เท่ากันในแต่ละวิธี

4.4 ผลของค่าพิกัดแต่ละจุดบนภาพถ่ายในแต่ละวิธี

ค่าพิกัดตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัชนีทั้ง 8 จุดจากวิธีการแต่ละแบบที่ได้ทำการประมวลผลโดยโปรแกรม สามารถแบ่งได้ออกตามวิธีการแต่ละวิธีดังต่อไปนี้

4.4.1 ผลที่ได้จากการกำหนดด้วยมือ

การวัดค่าพิกัดตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัชนีโดยวิธีการกำหนดด้วยมือเองจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขนั้นจะทำให้เราทราบค่าพิกัดเป็นจำนวนเต็ม(Full pixel) ซึ่งการทดสอบจะวัดจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความละเอียด 15 ไมครอนขนาดของภาพ 15232×15232 จุดภาพ,ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความละเอียด 30 ไมครอนขนาดของภาพ 7680×7680 จุดภาพและภาพถ่ายทางอากาศเชิง

เลขที่มีความละเอียด 60 ไมครอนขนาดของภาพ 3840×3840 จุดภาพ โดยทั้ง 3 ภาพที่ใช้เป็นภาพ Search matrix ได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการกำหนดด้วยมือจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	33	33
3	32	7561
5	33	15088
2	7560	34
1	7560	15088
6	15087	34
4	15087	7561
8	15087	15088

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการกำหนดด้วยมือจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	17	17
3	16	3781
5	17	7544
2	3780	17
1	3780	7544
6	7544	17
4	7544	3780
8	7544	7544

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการกำหนดด้วยมือจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข

ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	8	8
3	8	1890
5	8	3772
2	1890	8
1	1890	3772
6	3772	8
4	3772	1890
8	3772	3772

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการกำหนดด้วยมือจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	33	33
3	32	7561
5	33	15089
2	7560	33
1	7560	15088
6	15088	33
4	15088	7561
8	15088	15088

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการกำหนดด้วยมือจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	16	16

3	16	3781
5	16	7544
2	3780	16
1	3780	7544
6	7544	17
4	7544	3780
8	7544	7544

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการกำหนดด้วยมือจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	8	8
3	8	1890
5	8	3772
2	1890	8
1	1890	3772
6	3772	8
4	3772	1890
8	3772	3772

จากการทดสอบด้วยมือจะใช้เวลาในการหาตำแหน่งของศูนย์กลางของจุดดัชนีดังนี้ โดยที่ความละเอียด 60 ไมครอนใช้เวลา 2.06 นาที ส่วนที่ความละเอียด 30 ไมครอนใช้เวลา 2.40 นาที และที่ความละเอียด 15 ไมครอนใช้เวลา 3.43 นาทีของภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขทั้ง 2 ไฟล์

เมื่อทำการขยายภาพ Search matrix ที่เป็นตำแหน่งของจุดดัชนีบนภาพถ่ายทั้ง 8 จุดให้มีขนาด 4 เท่าของขนาดเดิมของภาพที่ได้หาค่าพิกัดจากวิธีการกำหนดด้วยมือจากนั้นแล้วจึงทำการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจุดดัชนีโดยวิธีการกำหนดด้วยมืออีกครั้ง จะได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการกำหนดด้วยมือแบบ Sub pixel จากภาพถ่ายทาง
อากาศเชิงเลขความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)
--------------------	----------------------------

	Row	Column
7	33.50	33.75
3	32.50	7561.25
5	33.25	15088.25
ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
2	7560.25	34.50
1	7560.25	15088.25
6	15087.75	34.50
4	15087.75	7561.25
8	15087.25	15088.25

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการกำหนดด้วยมือแบบ Sub pixel จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	16.75	17.25
3	16.50	3781.25
5	17.25	7544.50
2	3780.75	17.50
1	3780.50	7544.50
6	7543.25	17.25
4	7543.50	3780.25
8	7543.25	7543.75

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการกำหนดด้วยมือแบบ Sub pixel จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	8.75	8.50
3	8.25	1890.50
5	8.75	3772.25
ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	

	Row	Column
2	1890.75	8.25
1	1890.50	3772.50
6	3772.25	8.75
4	3772.50	1890.25
8	3772.25	3772.25

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการกำหนดด้วยมือแบบ Sub pixel จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	33.25	33.50
3	32.25	7561.25
5	33.50	15089.25
2	7560.50	33.75
1	7560.25	15088.50
6	15088.50	33.50
4	15088.50	7561.75
8	15088.25	15088.25

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการกำหนดด้วยมือแบบ Sub pixel จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	16.50	16.25
3	16.25	3781.25
5	16.75	7544.50
ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
2	3780.25	16.75
1	3780.50	7544.75
6	7544.25	17.50
4	7544.50	3780.25

8	7544.25	7544.75
---	---------	---------

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการกำหนดด้วยมือแบบ Sub pixel จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	8.25	8.50
3	8.50	1890.25
5	8.75	3772.50
2	1890.50	8.75
1	1890.25	3772.75
6	3772.25	8.75
4	3772.50	1890.50
8	3772.75	3772.50

จากการทดสอบด้วยมือเมื่อทำเป็นแบบ Sub pixel จะใช้เวลาในการหาตำแหน่งของศูนย์กลางของจุดดัชนีดังนี้โดยที่ความละเอียด 60 ไมครอนใช้เวลา 2.56 นาที ส่วนที่ความละเอียด 30 ไมครอนจะใช้เวลา 3.30 นาที และที่ความละเอียด 15 ไมครอนใช้เวลา 4.23 นาทีของภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขทั้ง 2 ไฟล์

4.4.2 ผลที่ได้จากการทดสอบโปรแกรม

ผลของการทดสอบหาค่าตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัชนีโดยการใช้โปรแกรมที่เขียนโดยภาษา C จากการประมวลผลบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความละเอียด 15 ไมครอนขนาดของภาพ 15232×15232 จุดภาพ,ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความละเอียด 30 ไมครอนขนาดของภาพ 7680×7680 จุดภาพและภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความละเอียด 60 ไมครอนขนาดของภาพ 3840×3840 จุดภาพ โดยทั้ง 3 ภาพที่ใช้เป็นภาพ Search matrix ซึ่งผลที่ได้จะแบ่งตามวิธีการแต่ละแบบออกเป็น 3 วิธีในการคำนวณหาค่าพิกัดจากการประมวลผลโดยโปรแกรมเพื่อนำเปรียบเทียบกันมีผลดังนี้

4.3.2.1 วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง(Center of gravity methods)

ผลจากการประมวลผลหาตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัชนีโดยวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง ทำให้ได้ค่าพิกัดของจุดดัชนีแต่ละจุดบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขเป็นค่าทศนิยม(Sub pixel)ทั้ง 8 จุด จากผลดังกล่าวได้ค่าดังนี้

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	33.14	33.34
3	32.15	7561.09
5	33.13	15088.05
2	7560.34	33.99
1	7560.18	15088.03
6	15087.65	33.85
4	15087.52	7560.76
8	15087.38	15088.19

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	16.55	16.39
3	15.88	3780.30
5	16.45	7544.03
2	3780.05	16.84
1	3780.06	7543.85
6	7543.74	16.88
4	7543.68	3780.19
8	7543.71	7543.94

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	8.36	8.05
3	7.86	1890.08
5	8.32	3772.14
2	1890.23	8.35
1	1890.07	3771.87
6	3772.13	8.52
4	3772.78	1890.03
8	3772.62	3772.62

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	33.02	32.82
3	31.67	7561.15
5	32.83	15088.47
2	7560.39	33.59
1	7560.22	15088.34
6	15088.14	33.29
4	15088.34	7561.49
8	15088.05	15087.94

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	16.28	16.22

3	15.63	3780.36
5	16.29	7544.09
2	3780.02	16.70
1	3780.03	7544.03
6	7544.04	16.56
4	7543.86	3780.12
8	7543.73	7543.91

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	8.45	8.35
3	7.80	1890.07
5	8.78	3772.49
2	1890.04	8.21
1	1890.03	3771.91
6	3772.34	8.58
4	3771.90	1890.01
8	3772.68	3772.66

จากการทดสอบด้วยโปรแกรมโดยวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางจะใช้เวลาในการหาตำแหน่งของศูนย์กลางของจุดดัชนีดังนี้โดยที่ความละเอียด 60 ไมครอนใช้เวลา 1.5 วินาที ส่วนที่ความละเอียด 30 ไมครอนจะใช้เวลา 1.5 วินาที และที่ความละเอียด 15 ไมครอนใช้เวลา 1.5 วินาทีของภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขทั้ง 2 ไฟล์

4.4.2.2 วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation coefficient,r)

ผลจากการประมวลผลหาตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัชนีโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ค่าพิกัดของแต่ละจุดที่ได้เป็นค่าจำนวนเต็ม(Full pixel)ทั้ง 8 จุด จากค่าความสัมพันธ์ที่มากที่สุดที่พบจะให้ตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัชนีซึ่งมีผลดังนี้

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากภาพถ่ายทาง
อากาศเชิงเลขความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)		r
	Row	Column	
7	33	33	0.8
3	32	7561	0.7
5	33	15088	0.7
2	7560	34	0.7
1	7560	15088	0.8
6	15087	34	0.7
4	15087	7561	0.7
8	15087	15088	0.7

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ค่าสหสัมพันธ์จากภาพถ่าย
ทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)		r
	Row	Column	
7	17	17	0.8
3	17	3781	0.8
5	17	7545	0.8
2	3781	17	0.7
1	3781	7544	0.7
6	7544	17	0.7
4	7544	3781	0.7
8	7544	7544	0.7

ตารางที่ 4.22 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากภาพถ่ายทาง
อากาศเชิงเลขความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)		r
	Row	Column	
7	9	9	0.8
3	9	1891	0.7
5	9	3773	0.8
2	1891	9	0.9
1	1891	3773	0.8
6	3773	9	0.7
4	3773	1891	0.7
8	3773	3773	0.7

ตารางที่ 4.23 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากภาพถ่ายทาง
อากาศเชิงเลขความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)		r
	Row	Column	
7	33	33	0.9
3	32	7561	0.8
5	33	15089	0.8
2	7560	33	0.7
1	7560	15088	0.7
6	15088	33	0.7
4	15088	7561	0.8
8	15088	15088	0.8

ตารางที่ 4.24 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากภาพถ่าย
ทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	r
--------------------	----------------------------	---

	Row	Column	
7	17	17	0.9
3	16	3781	0.7
5	17	7545	0.9
2	3781	17	0.8
1	3781	7545	0.9
6	7545	17	0.8
4	7544	3781	0.7
8	7544	7545	0.7

ตารางที่ 4.25 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)		r
	Row	Column	
7	9	9	0.8
3	9	1891	0.7
5	9	3773	0.9
2	1891	9	0.9
1	1891	3773	0.8
6	3773	9	0.8
4	3773	1891	0.7
8	3773	3773	0.7

จากการทดสอบด้วยโปรแกรมโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะใช้เวลาในการหาตำแหน่งของศูนย์กลางของจุดดัชนีดังนี้โดยที่ความละเอียด 60 ไมครอนใช้เวลา 1.7 วินาที ส่วนที่ความละเอียด 30 ไมครอนจะใช้เวลา 1.7 วินาที และที่ความละเอียด 15 ไมครอนใช้เวลา 1.7 วินาทีของภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขทั้ง 2 ไฟล์

เมื่อทำการขยายภาพ Search matrix ที่เป็นตำแหน่งของจุดดัชนีบนภาพถ่ายทั้ง 8 จุดให้มีขนาด 4 เท่าของขนาดเดิมของภาพที่ได้หาค่าพิกัดจากวิธีของการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากนั้นแล้วจึงทำการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจุดดัชนีโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อีกครั้ง มีผลดังนี้

ตารางที่ 4.26 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Sub pixel จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)		r
	Row	Column	
7	32.75	32.25	0.9
3	32.25	7560.75	0.8
5	32.75	15087.75	0.7
2	7560.25	33.75	0.8
1	7560.25	15087.75	0.7
6	15087.75	33.50	0.8
4	15087.75	7560.75	0.8
8	15087.25	15087.75	0.7

ตารางที่ 4.27 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Sub pixel จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)		r
	Row	Column	
7	16.75	16.75	0.7
3	16.25	3780.75	0.9
5	16.75	7544.50	0.8
ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)		r
	Row	Column	
2	3780.25	16.50	0.7
1	3780.50	7543.50	0.8
6	7543.50	16.50	0.8
4	7543.75	3780.50	0.8
8	7543.75	7543.50	0.9

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Sub pixel จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)		r
	Row	Column	
7	8.75	8.25	0.7
3	8.25	1890.50	0.9
5	8.50	3772.50	0.8

2	1890.50	8.25	0.7
1	1890.50	3772.25	0.8
6	3772.50	8.25	0.8
4	3772.25	1890.50	0.8
8	3772.75	3772.25	0.9

ตารางที่ 4.29 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Sub pixel จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)		r
	Row	Column	
7	32.25	32.75	0.8
3	31.75	7561.25	0.8
5	32.75	15087.75	0.8
ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)		r
	Row	Column	
2	7560.25	33.50	0.8
1	7560.50	15088.25	0.7
6	15088.25	33.25	0.8
4	15088.25	7561.50	0.7
8	15087.75	15087.75	0.8

ตารางที่ 4.30 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Sub pixel จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)		r
	Row	Column	
7	16.75	16.50	0.8
3	15.75	3780.75	0.8
5	16.75	7544.50	0.8
2	3780.50	16.75	0.7
1	3780.25	7544.50	0.8
6	7544.25	16.75	0.8
4	7544.25	3780.25	0.8
8	7543.75	7544.25	0.7

ตารางที่ 4.31 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Sub pixel จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)		r
	Row	Column	
7	8.75	8.50	0.8
3	8.25	1890.25	0.7
5	8.75	3772.50	0.8
ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)		r
	Row	Column	
2	1891.25	8.50	0.8
1	1890.50	3772.75	0.7
6	3772.50	8.75	0.8
4	3772.25	1890.25	0.8
8	3772.75	3772.75	0.8

จากการทดสอบด้วยโปรแกรมโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Sub pixel จะใช้เวลาในการหาตำแหน่งของศูนย์กลางของจุดดัชนีนี้โดยที่ความละเอียด 60 ไมครอนใช้เวลา 1.7 วินาที ส่วนที่ความละเอียด 30 ไมครอนจะใช้เวลา 1.7 วินาที และที่ความละเอียด 15 ไมครอนใช้เวลา 1.7 วินาที ของภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขทั้ง 2 ไฟล์

4.4.2.3 วิธีลีสท์สแควร์ (Least square Matching)

ผลจากการประมวลผลหาตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัชนีโดยวิธีลีสท์สแควร์ค่าพิกัดของจุดดัชนีแต่ละจุดที่ได้เป็นค่าทศนิยม(Sub pixel) ทั้ง 8 จุดจากการปรับแก้เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ทั้ง 8 ค่า แล้วนำมาคำนวณหาค่าพิกัดของจุดดัชนีทั้ง 8 จุดมีผลดังนี้

ตารางที่ 4.32 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีลีสท์สแควร์จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	33.14	33.34

3	32.15	7561.09
5	33.12	15088.05
2	7560.33	33.99
1	7560.19	15088.03
6	15087.65	33.86
ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
4	15087.52	7560.76
8	15087.38	15088.20

ตารางที่ 4.33 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีลีสท์สแควร์จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	16.57	16.39
3	15.88	3780.31
5	16.46	7544.04
2	3780.06	16.83
1	3780.06	7543.85
6	7543.75	16.88
4	7543.68	3780.20
8	7543.71	7543.95

ตารางที่ 4.34 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีลีสท์สแควร์จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	8.56	7.89
3	8.04	1889.98
5	8.47	3772.12
2	1890.38	8.29
1	1890.29	3771.77
6	3772.29	8.59

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
4	3772.02	1890.03
8	3772.67	3772.58

ตารางที่ 4.35 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีสี่เหลี่ยมจัตุรัสจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	33.03	32.81
3	31.67	7561.15
5	32.83	15088.49
2	7560.39	33.58
1	7560.22	15088.34
6	15088.15	33.29
4	15088.32	7561.59
8	15088.06	15087.95

ตารางที่ 4.36 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีสี่เหลี่ยมจัตุรัสจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	16.30	16.22
3	15.63	3780.36
5	16.30	7544.10
2	3780.02	16.70
1	3780.03	7543.03
6	7544.05	16.57
ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
4	7543.87	3780.13
8	7543.72	7543.91

ตารางที่ 4.37 แสดงค่าพิกัดของจุดดัชนีโดยวิธีสี่เหลี่ยมจัตุรัสจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

ตำแหน่งของจุดดัชนี	ค่าพิกัดของจุดดัชนี(pixel)	
	Row	Column
7	8.68	8.35
3	7.81	1889.23
5	8.90	3772.48
2	1890.23	8.15
1	1890.25	3771.78
6	3772.36	8.37
4	3772.18	1889.89
8	3772.74	3772.58

จากการทดสอบด้วยโปรแกรมโดยวิธีสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะใช้เวลาในการหาตำแหน่งของ
ศูนย์กลางของจุดดัชนีดังนี้โดยที่ความละเอียด 60 ไมครอนใช้เวลา 4.2 วินาที ส่วนที่ความละเอียด 30 ไมครอน
จะใช้เวลา 4.2 วินาที และที่ความละเอียด 15 ไมครอนใช้เวลา 4.2 วินาที ของภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขทั้ง 2
ไฟล์

4.5 ผลจากการเปรียบเทียบแต่ละวิธี

หลังจากการประมวลผลค่าพิกัดที่ได้แต่ละวิธีการในการหาค่าพิกัดของจุดดัชนีทั้ง 8 จุดบน
ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข ก็จะนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความผิดพลาดว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร
สำหรับวิธีการแต่ละแบบที่ได้ค่าพิกัดออกมาจะทำการเปรียบเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วงเป็น
หลัก แล้วแสดงให้เห็นเป็นความผิดพลาดเป็นค่าของจุดภาพ(pixel) ในตารางของแต่ละจุดและแต่ละวิธีการบน
ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความละเอียด 15 , 30 และ 60 ไมครอนดังนี้

4.5.1 ผลเปรียบเทียบค่าพิกัดของจุดดัชนีตำแหน่งที่ 7 บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข

ตารางที่ 4.38 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 7 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column

วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	33	33	0.14	0.34
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	33.50	33.25	-0.36	0.09
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	33.14	33.34	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	33	33	0.14	0.34
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel (correlaton cofficient,r)	32.75	32.25	0.25	0.09
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	33.14	33.34	0.00	0.00

ตารางที่ 4.39 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 7 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	17	17	-0.44	-0.61
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	16.75	17.25	-0.09	-0.86
วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	16.55	16.39	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	17	17	-0.44	-0.61
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	16.75	16.75	-0.20	-0.36
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	16.57	16.39	-0.01	0.00

ตารางที่ 4.40 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 7 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลาง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	8	8	-0.36	-0.05
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	8.75	8.50	-0.19	-0.45
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง (Center of gravity methods)	8.36	8.05	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สห สัมพันธ์(correlaton cofficient,r)	9	9	-0.64	-0.95
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	8.75	8.25	-0.19	-0.20
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	8.56	7.89	-0.20	0.16

ตารางที่ 4.41 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 7 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลาง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	33	33	0.02	-0.18
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	33.25	33.50	-0.23	-0.68
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง (Center of gravity methods)	33.02	32.82	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สห สัมพันธ์(correlaton cofficient,r)	33	33	0.02	-0.18
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	33.25	32.75	-0.23	0.07
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	33.03	32.81	-0.01	0.01

ตารางที่ 4.42 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 7 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	16	16	0.28	0.22
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	16.50	16.25	-0.22	-0.03
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	16.28	16.22	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	17	17	-0.72	-0.78
วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	16.75	16.50	-0.47	0.28
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	16.30	16.22	-0.02	0.00

ตารางที่ 4.43 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 7 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข

ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	8	8	0.45	0.35
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	8.25	8.50	0.25	0.15
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	8.45	8.35	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	9	9	-0.55	-0.65
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	8.75	8.50	-0.30	-0.25
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	8.68	8.35	-0.23	0.00

จากผลการทดสอบจะพบว่าความผิดพลาดของการคำนวณโดยใช้โปรแกรมหาค่าพิกัดของจุดดัชนีบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความละเอียด 15 , 30 และ 60 ไมครอนของจุดดัชนีตำแหน่งที่ 7 (มุมซ้ายด้านบน) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางแล้วจะมีความผิดพลาดอยู่ในช่วง 0.1-0.5 จุดภาพ(pixel) ที่มีความละเอียด 15 , 30 ไมครอน ส่วนที่มีความละเอียด 60 ไมครอนจะมีความผิดพลาดในช่วง 0.5-0.7 จุดภาพ(pixel)

4.5.2 ผลเปรียบเทียบค่าพิกัดของจุดดัชนีตำแหน่งที่ 3 บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข

ตารางที่ 4.44 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 3 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลาง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	32	7561	-0.15	-0.09
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	32.50	7561.25	-0.35	-0.16
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง (Center of gravity methods)	32.15	7561.09	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton coefficient,r)	32	7561	0.15	0.09
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	32.25	7560.75	-0.15	0.34
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	32.15	7561.09	0.00	0.00

ตารางที่ 4.45 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 3 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลาง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	16	3781	-0.12	-0.70
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	16.50	3781.25	-0.62	-0.95

วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	15.88	3780.30	0.00	0.00
วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	17	3781	-1.12	-0.70
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	16.25	3780.75	-0.37	-0.45
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	15.88	3781.31	0.00	-0.01

ตารางที่ 4.46 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 3 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	8	1890	-0.14	-0.08
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	8.25	1890.50	-0.39	-0.42
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	7.86	1890.08	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	9	1891	-1.14	-0.92
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	8.25	1890.50	-0.39	-0.42
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	8.04	1889.98	-0.15	0.10

ตารางที่ 4.47 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 3 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	32	7561	-0.33	0.15
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	32.25	7561.25	-0.58	-0.10
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	31.67	7561.15	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สัมพันธ์(correlaton cofficient,r)	32	7561	-0.33	0.15
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	31.75	7561.25	-0.08	-0.10
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	31.67	7561.15	0.00	0.00

ตารางที่ 4.48 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 3 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	16	3781	-0.37	-0.64
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	16.25	3781.25	-0.62	-0.89
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	15.63	3780.36	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สัมพันธ์(correlaton cofficient,r)	16	3781	-0.37	-0.64
วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	15.75	3780.75	-0.12	-0.39
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	15.63	3780.36	0.00	0.00

ตารางที่ 4.49 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 3 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	8	1890	-0.20	0.07
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	8.50	1890.25	-0.70	0.18
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	7.80	1890.07	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	9	1891	-1.20	-0.93
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	8.25	1890.25	-0.45	-0.18
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	7.81	1889.93	-0.01	0.14

จากผลการทดสอบจะพบว่าความผิดพลาดของการคำนวณโดยการใช้โปรแกรมหาค่าพิกัด
ของจุดดัชนีบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความละเอียด 15 , 30 และ 60 ไมครอนของจุดดัชนีตำแหน่งที่ 3
(ตรงกลางด้านบน) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วงแล้วจะมีความผิดพลาดอยู่ในช่วง
0.1-0.4 จุดภาพ(pixel) ที่มีความละเอียด 15 ไมครอน ส่วนที่ความละเอียด 30 และ 60 ไมครอนจะมีความผิดพลาด
ในช่วง 0-0.7 จุดภาพ(pixel)

4.5.3 ผลเปรียบเทียบค่าพิกัดของจุดดัชนีตำแหน่งที่ 5 บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข

ตารางที่ 4.50 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 5 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	33	15088	0.00	0.05

วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	33.25	15088.25	-0.12	0.10
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	33.13	15088.05	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สัมพันธ์(correlaton cofficient,r)	33	15088	-0.13	0.05
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	32.75	15087.75	0.38	0.30
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	33.12	15088.05	0.01	0.00

ตารางที่ 4.51 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 5 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	17	7544	-0.55	0.03
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	17.25	7544.50	-0.80	-0.47

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	16.45	7544.03	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สัมพันธ์(correlaton cofficient,r)	17	7545	-0.55	-0.97
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	16.75	7544.50	-0.30	-0.47
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	16.46	7544.04	-0.01	-0.01

ตารางที่ 4.52 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 5 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลาง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	8	3772	0.32	0.14
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	8.75	3772.25	-0.43	-0.11
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง (Center of gravity methods)	8.32	3772.14	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สห สัมพันธ์(correlaton cofficient,r)	9	3773	-0.68	-0.86
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	8.50	3772.50	-0.18	-0.36
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	8.47	3772.12	-0.15	0.02

ตารางที่ 4.53 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 5 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลาง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	33	15089	-0.17	-0.53
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	33.50	15089.25	-0.67	-0.78
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง (Center of gravity methods)	32.83	15088.47	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สห สัมพันธ์(correlaton cofficient,r)	33	15089	-0.17	-0.53
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	32.75	15088.75	0.08	-0.28
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	32.83	15088.49	0.00	0.02

ตารางที่ 4.54 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 5 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	16	7544	0.29	0.09
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	16.75	7544.50	-0.46	-0.41
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	16.29	7544.09	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	17	7545	-0.71	-0.91

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	16.75	7544.50	-0.46	-0.41
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	16.30	7544.10	-0.01	-0.01

ตารางที่ 4.55 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 5 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	8	3772	0.78	0.49
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	8.75	3772.50	0.03	-0.01
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	8.78	3772.49	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	9	3773	-0.22	-0.51
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	8.75	3772.50	0.03	-0.01

วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	8.90	3772.48	-0.12	0.01
---	------	---------	-------	------

จากผลการทดสอบจะพบว่าความผิดพลาดของการคำนวณโดยใช้โปรแกรมหาค่าพิกัดของจุดดัชนีบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความละเอียด 15 , 30 และ 60 ไมครอนของจุดดัชนีตำแหน่งที่ 5 (มุมขวาด้านบน) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางแล้วจะมีความผิดพลาดอยู่ในช่วง 0-0.6 จุดภาพ(pixel) ที่มีความละเอียด 15 , 30 และ 60 ไมครอน

4.5.4 ผลเปรียบเทียบค่าพิกัดของจุดดัชนีตำแหน่งที่ 2 บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข

ตารางที่ 4.56 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 2 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	7560	34	0.34	-0.01
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	7560.25	34.50	0.09	-0.51
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง (Center of gravity methods)	7560.34	33.99	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(correlaton cofficient,r)	7560	34	0.34	-0.01
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	7560.25	33.75	0.09	0.24
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	7560.33	33.99	0.01	0.00

ตารางที่ 4.57 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 2 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column

วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	3780	17	0.05	-0.16
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	3780.75	17.50	-0.65	-0.66
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	3780.05	16.84	0.00	0.00
วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	3781	17	-0.95	-0.16
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	3780.25	16.5	-0.20	0.50
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	3780.06	16.83	-0.01	0.01

ตารางที่ 4.58 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 2 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	1890	8	0.23	0.35
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	1890.75	8.25	-0.52	0.10
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	1890.23	8.35	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	1891	9	-0.77	-0.65
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	1890.50	8.25	-0.27	0.10
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	1890.38	8.29	-0.15	0.06

ตารางที่ 4.59 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 2 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	7560	33	0.39	0.59
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	7560.50	33.75	-0.11	-0.16
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	7560.39	33.59	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	7560	33	0.39	0.59
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	7560.25	33.50	0.14	0.09
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	7560.39	33.58	0.00	0.01

ตารางที่ 4.60 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 2 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	3780	16	0.02	0.70
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	3780.25	16.75	-0.23	-0.05
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	3780.02	16.70	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	3781	17	-0.98	-0.30

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column

วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	3780.50	16.75	-0.48	-0.05
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	3780.02	16.70	0.00	0.00

ตารางที่ 4.61 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 2 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	1890	8	0.04	0.21
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	1890.50	8.75	-0.46	-0.54
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	1890.04	8.21	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(correlaton cofficient,r)	1891	9	-0.96	-0.79
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	1890.25	8.50	-0.21	-0.29
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	1890.23	8.15	-0.21	-0.07

จากผลการทดสอบจะพบว่าความผิดพลาดของการคำนวณโดยใช้โปรแกรมหาค่าพิกัดของจุดดัชนีบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความละเอียด 15 , 30 และ 60 ไมครอนของจุดดัชนีตำแหน่งที่ (มุมซ้ายตรงกลาง) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วงแล้วจะมีความผิดพลาดอยู่ในช่วง 0.1-0.3 จุดภาพ(pixel) ที่มีความละเอียด 15 ไมครอน ส่วนที่มีความละเอียด 30 และ 60 ไมครอนจะมีความผิดพลาดในช่วง 0.1-0.6 จุดภาพ(pixel)

4.5.5 ผลเปรียบเทียบค่าพิกัดของจุดดัชนีตำแหน่งที่ 1 บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข

ตารางที่ 4.62 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 1 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)	ค่าความผิดพลาดเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง(pixel)

	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	7560	15088	0.18	0.03
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	7560.25	15088.25	-0.07	-0.22
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	7560.18	15088.03	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	7560	15088	0.18	0.03
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	7560.25	15087.75	-0.07	-0.28
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	7560.19	15088.03	-0.01	0.00

ตารางที่ 4.63 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 1 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	3780	7544	0.06	0.00
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	3780.50	7544.50	-0.44	-0.65
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	3780.06	7543.85	0.00	0.00
วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	3781	7544	-0.94	-0.15
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	3780.50	7543.50	-0.44	0.35
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	3780.06	7543.85	0.00	0.00

ตารางที่ 4.64 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 1 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลาง(voxel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	1890	3772	0.07	-0.13
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	1890.50	3772.50	-0.47	-0.63
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง (Center of gravity methods)	1890.07	3771.87	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สห สัมพันธ์(correlaton cofficient,r)	1891	3773	-0.93	-1.13
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	1890.50	3772.25	-0.43	-0.38
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	1890.29	3771.77	-0.22	0.10

ตารางที่ 4.65 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 1 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลาง(voxel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	7560	15088	0.22	0.34
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	7560.25	15088.50	-0.03	-0.16
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง (Center of gravity methods)	7560.22	15088.34	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สห สัมพันธ์(correlaton cofficient,r)	7560	15088	0.22	0.34
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	7560.50	15088.25	-0.28	0.09
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	7560.22	15088.34	0.00	0.00

ตารางที่ 4.66 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 1 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	3780	7544	0.03	0.03
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	3780.50	7544.75	-0.47	-0.72
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	3780.03	7544.03	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	3781	7545	-0.97	-0.97

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	3780.25	7544.50	-0.22	-0.47
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	3780.03	7544.03	0.00	0.00

ตารางที่ 4.67 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 1 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	1890	3772	0.03	-0.15
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	1890.25	3772.75	-0.22	-0.84
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	1890.03	3771.91	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	1891	3773	-0.97	-1.09

วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	1890.50	3772.75	-0.47	-0.34
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	1890.25	3771.78	-0.22	0.13

จากผลการทดสอบจะพบว่าความผิดพลาดของการคำนวณโดยใช้โปรแกรมหาค่าพิกัดของจุดดัชนีบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความละเอียด 15 , 30 และ 60 ไมครอนของจุดดัชนีตำแหน่งที่ 2 (มุมซ้ายตรงกลาง) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางแล้วจะมีความผิดพลาดอยู่ในช่วง 0.1-0.25 จุดภาพ(pixel) ที่มีความละเอียด 15 ไมครอน ส่วนที่มีความละเอียด 30 และ 60 ไมครอนจะมีความผิดพลาดในช่วง 0.1-0.7 จุดภาพ(pixel)

4.5.6 ผลเปรียบเทียบค่าพิกัดของจุดดัชนีตำแหน่งที่ 6 บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข

ตารางที่ 4.68 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 6 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	15087	34	0.65	-0.15
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	15087.75	34.50	-0.10	-0.65
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง (Center of gravity methods)	15087.65	33.85	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(correlaton coefficient,r)	15087	34	0.65	-0.15
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	15087.75	33.50	-0.10	0.15
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	15087.65	33.86	0.00	0.01

ตารางที่ 4.69 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 6 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)	ค่าความผิดพลาดเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง(pixel)

	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	7544	17	-0.26	-0.12
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	7543.25	17.25	0.49	-0.37
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	7543.74	16.88	0.00	0.00
วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	7544	17	-0.26	-0.12
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	7543.50	16.50	0.24	0.38
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	7543.75	16.88	0.01	0.00

ตารางที่ 4.70 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 6 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	3772	8	0.13	0.52
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	3772.25	8.75	-0.12	-0.23
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	3772.13	8.52	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	3773	9	-0.87	-0.48
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	3772.50	8.25	-0.37	0.27
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	3772.29	8.59	-0.16	-0.07

ตารางที่ 4.71 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 6 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	15088	33	0.14	0.29
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	15088.50	33.50	-0.36	-0.21
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	15088.14	33.29	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	15088	33	0.14	0.29
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	15088.25	33.25	-0.11	0.04
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	15088.15	33.29	0.00	0.00

ตารางที่ 4.72 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 6 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	7544	17	0.04	-0.44
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	7544.25	17.50	0.21	-0.94
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	7544.04	16.56	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	7545	17	-0.96	-0.44

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)	ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)

	Row	Column	Row	Column
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	7544.25	16.75	-0.21	-0.19
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	7544.05	16.57	0.01	-0.01

ตารางที่ 4.73 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 6 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	3772	8	0.34	0.58
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	3772.25	8.75	0.09	-0.17
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	3772.34	8.58	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(correlaton cofficient,r)	3773	9	-0.66	-0.42
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	3772.50	8.75	-0.16	-0.17
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	3772.36	8.37	-0.02	0.21

จากผลการทดสอบจะพบว่าความผิดพลาดของการคำนวณโดยใช้โปรแกรมหาค่าพิกัดของจุดดัชนีบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความละเอียด 15 , 30 และ 60 ไมครอนของจุดดัชนีตำแหน่งที่ 6 (มุมซ้ายด้านล่าง) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วงแล้วจะมีความผิดพลาดอยู่ในช่วง 0.1-0.3 จุดภาพ(pixel) ที่มีความละเอียด 15 ไมครอน ส่วนที่ความละเอียด 30 และ 60 ไมครอนจะมีความผิดพลาดในช่วง 0.1-0.6 จุดภาพ(pixel)

4.5.7 ผลเปรียบเทียบค่าพิกัดของจุดดัชนีตำแหน่งที่ 4 บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข

ตารางที่ 4.74 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 4 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลาง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	15087	7561	0.52	-0.24
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	15087.75	7561.25	-0.23	-0.49
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	15087.52	7560.76	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สห สัมพันธ์(correlaton cofficient,r)	15087	7561	0.52	-0.24
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	15087.75	7560.75	-0.23	0.01
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	15087.52	7560.76	0.00	0.00

ตารางที่ 4.75 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 4 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	7544	3780	-0.32	0.19
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	7543.50	3780.25	0.18	-0.06
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	7543.68	3780.19	0.00	0.00
วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สห สัมพันธ์(correlaton cofficient,r)	7544	3781	-0.32	-0.81
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	7543.75	3780.50	-0.07	-0.31
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	7543.68	3780.20	0.00	-0.01

ตารางที่ 4.76 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 4 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	3772	1890	-0.78	0.03
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	3772.50	1890.25	0.28	-0.22
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	3772.78	1890.03	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	3773	1891	-0.22	-0.97
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	3772.25	1890.50	-0.47	-0.47
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	3772.02	1890.03	-0.24	0.00

ตารางที่ 4.77 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 4 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	15088	7561	0.34	0.49
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	15088.50	7561.75	-0.16	-0.26
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	15088.34	7561.49	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	15088	7561	0.34	0.49
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ	15088.25	7561.50	0.09	-0.01

sub pixel				
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	15088.32	7561.59	0.02	-0.10

ตารางที่ 4.78 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 4 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	7544	3780	-0.14	0.12
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	7544.50	3780.25	-0.64	-0.13
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	7543.86	3780.12	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สัมพันธ์(correlaton cofficient,r)	7544	3781	-0.14	-0.88

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	7543.50	3780.25	0.36	-0.13
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	7544.87	3780.13	-0.01	-0.01

ตารางที่ 4.79 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 4 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	3772	1890	-0.10	-0.01
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	3772.50	1890.25	-0.60	-0.24
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง	3771.90	1890.01	0.00	0.00

(Center of gravity methods)				
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(correlaton cofficient,r)	3773	1891	-1.10	-0.99
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	3772.25	1890.25	-0.35	-0.24
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	3772.18	1889.89	-0.28	0.12

จากผลการทดสอบจะพบว่าความผิดพลาดของการคำนวณโดยใช้โปรแกรมหาค่าพิกัดของจุดดัชนีบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความละเอียด 15 , 30 และ 60 ไมครอนของจุดดัชนีตำแหน่งที่ 4 (ตรงกลางด้านล่าง) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางแล้วจะมีความผิดพลาดอยู่ในช่วง 0.1-0.3 จุดภาพ(pixel) ที่มีความละเอียด 15 และ 30 ไมครอน ส่วนที่ความละเอียด 60 ไมครอนจะมีความผิดพลาดในช่วง 0.1-0.6 จุดภาพ(pixel)

4.5.8 ผลเปรียบเทียบค่าพิกัดของจุดดัชนีตำแหน่งที่ 8 บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข

ตารางที่ 4.80 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 8 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับวิธีกำหนดเอง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	15087	15088	0.38	0.19
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel (Manual location)	15087.25	15088.25	0.13	-0.06
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง (Center of gravity methods)	15087.38	15088.19	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(correlaton cofficient,r)	15087	15088	0.38	0.19
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel (correlaton cofficient,r)	15087.25	15087.75	0.13	0.44
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	15087.38	15087.20	0.00	-0.01

ตารางที่ 4.81 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 8 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลาง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	7544	7544	-0.29	-0.06
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	7543.25	7543.75	0.46	0.19
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง (Center of gravity methods)	7543.71	7543.94	0.00	0.00
วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลาง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	7545	7544	-1.29	-0.06
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	7543.75	7543.50	-0.19	0.44
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	7543.71	7543.95	0.00	-0.01

ตารางที่ 4.82 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 8 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลาง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	3772	3772	0.62	0.62
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	3772.25	3772.25	0.37	0.37
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง (Center of gravity methods)	3772.62	3772.62	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	3773	3773	-0.38	-0.38
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	3772.75	3772.25	-0.13	0.37
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	3773.67	3772.58	-0.05	0.05

ตารางที่ 4.83 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 8 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	15088	15088	0.05	-0.06
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	15088.25	15088.25	-0.20	-0.31
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	15088.05	15087.94	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton coefficient,r)	15088	15088	0.05	-0.06
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	15087.75	15087.75	0.30	0.19
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	15088.06	15087.95	-0.01	-0.01

ตารางที่ 4.84 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 8 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	7544	7544	-0.27	-0.09
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	7544.25	7544.75	-0.52	-0.84
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	7543.73	7543.91	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton coefficient,r)	7544	7545	-0.27	-1.09

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	7543.75	7544.25	-0.02	-0.34
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	7543.72	7543.91	0.01	0.00

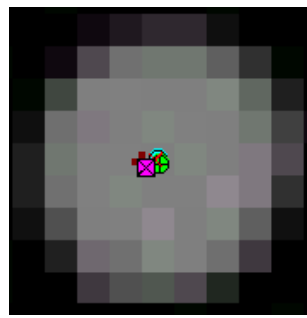
ตารางที่ 4.85 แสดงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดดัชนีจุดที่ 8 จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข
ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

วิธีการหาค่าพิกัด	ค่าพิกัดของจุดดัชนี (pixel)		ค่าความผิดพลาดเทียบกับ วิธีการวัดศูนย์กลางของจุด ศูนย์กลางถ่วง(pixel)	
	Row	Column	Row	Column
วิธีการกำหนดเอง (Manual locating)	3772	3772	0.68	0.66
วิธีการกำหนดเองแบบ sub pixel	3772.75	3772.50	-0.07	0.16
วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity methods)	3772.68	3772.66	0.00	0.00
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlaton cofficient,r)	3773	3773	-0.32	-0.34
วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ sub pixel	3772.75	3772.75	-0.07	-0.09
วิธีการลีสต์สแควร์(Least Square Method)	3772.74	3772.58	-0.06	0.08

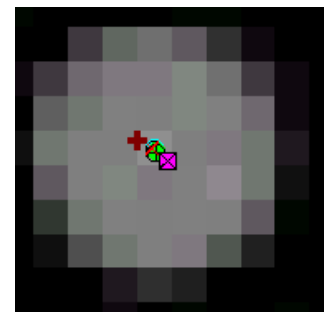
จากผลการทดสอบจะพบว่าความผิดพลาดของการคำนวณโดยการใช้โปรแกรมหาค่าพิกัด
ของจุดดัชนีบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความละเอียด 15 , 30 และ 60 ไมครอนของจุดดัชนีตำแหน่งที่ 8
(มุมขวาด้านล่าง) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วงแล้วจะมีความผิดพลาดอยู่ในช่วง 0.1-
0.3 จุดภาพ(pixel) ที่มีความละเอียด 15 ไมครอน ส่วนที่ความละเอียด 30 ไมครอน จะมีความผิดพลาดในช่วง
0.1-0.5 จุดภาพ(pixel)และที่ความละเอียด 60 ไมครอนจะมีความผิดพลาดในช่วง 0.1-0.5 จุดภาพ(pixel)



ตำแหน่งที่ 7



ตำแหน่งที่ 3

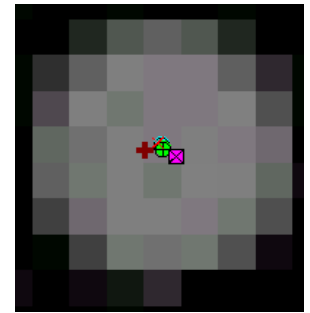


ตำแหน่งที่ 5



ตำแหน่งที่ 2

- ▲ ตำแหน่งจากวิธีกำหนดด้วยมือ
- ⊠ ตำแหน่งจากวิธีกำหนดด้วยมือแบบ Sub pixel
- ตำแหน่งจากวิธีการกำหนดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง
- ตำแหน่งจากวิธีหาค่าสัมประสิทธิ์สี่เหลี่ยมผืนผ้า
- ⊕ ตำแหน่งจากวิธีหาค่าสัมประสิทธิ์สี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบ Sub pixel
- ✕ ตำแหน่งจากวิธีการลิสต์สแควร์



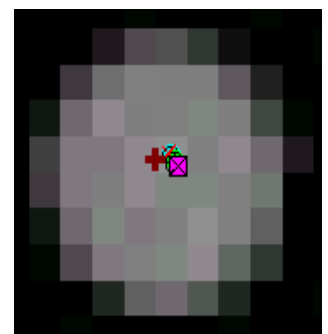
ตำแหน่งที่ 1



ตำแหน่งที่ 6

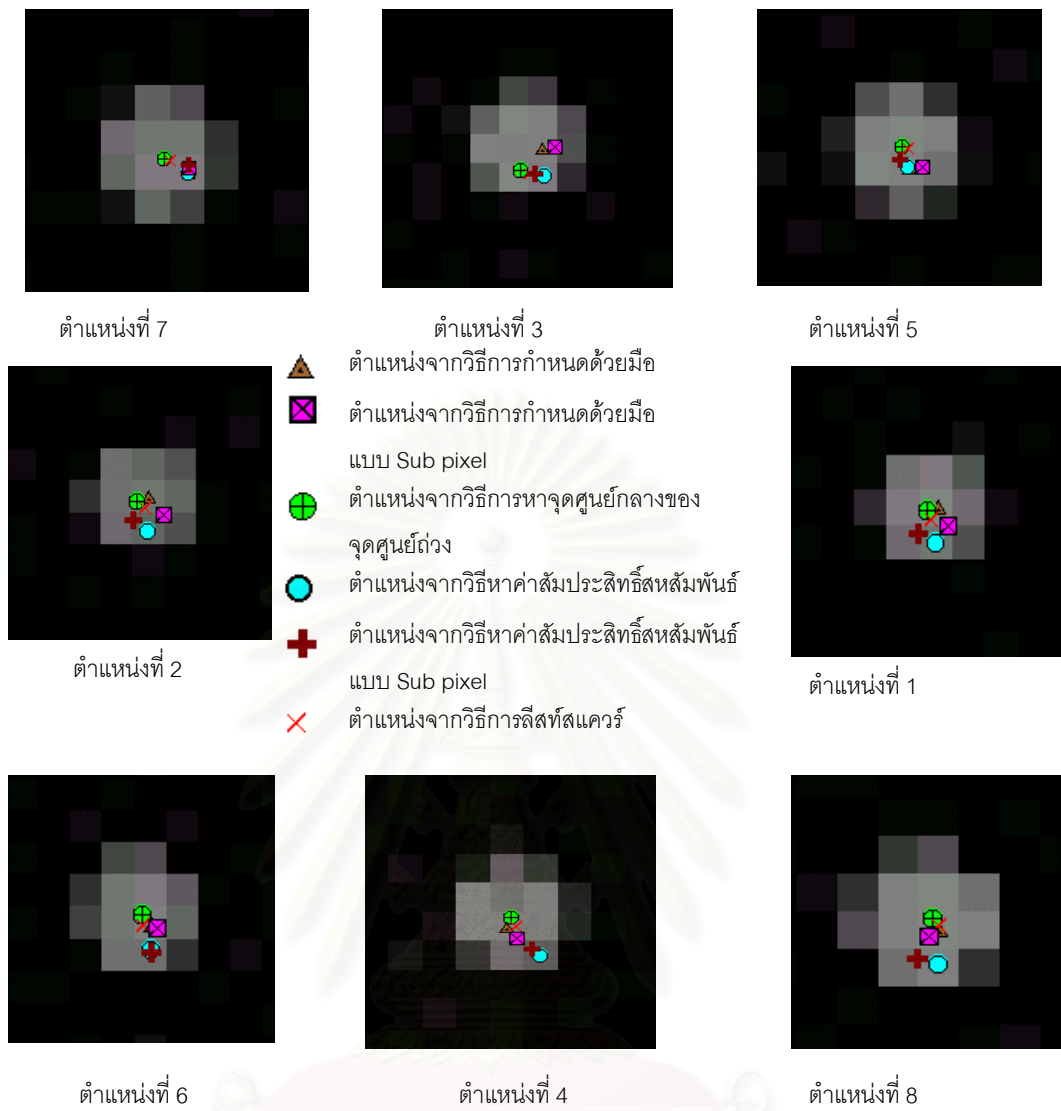


ตำแหน่งที่ 4



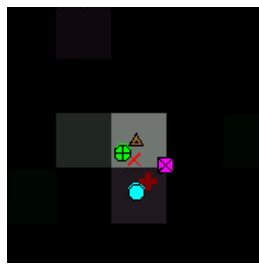
ตำแหน่งที่ 8

รูปที่ 4.2 แสดงตำแหน่งของค่าพิกัดโดยวิธีการต่างๆ บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

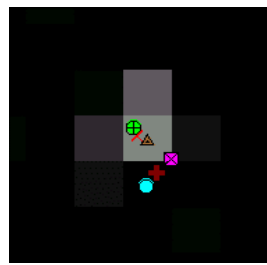


รูปที่ 4.3 แสดงตำแหน่งของค่าพิกัดโดยวิธีการต่างๆ บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

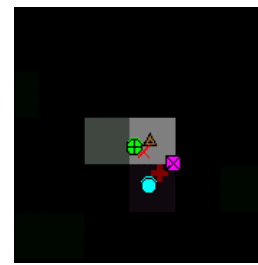
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



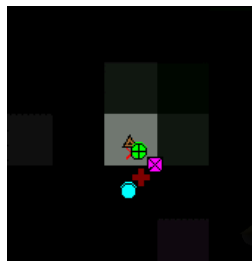
ตำแหน่งที่ 7



ตำแหน่งที่ 3

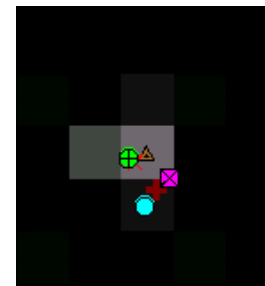


ตำแหน่งที่ 5

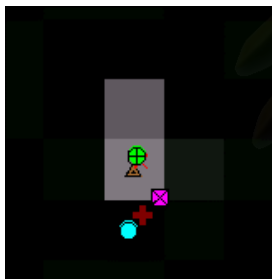


ตำแหน่งที่ 2

- ▲ ตำแหน่งจากวิธีการกำหนดด้วยมือ
- ⊠ ตำแหน่งจากวิธีการกำหนดด้วยมือแบบ Sub pixel
- ⊕ ตำแหน่งจากวิธีหาจุดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลาง
- ตำแหน่งจากวิธีหาค่าสัมประสิทธิ์สี่เหลี่ยม
- ⊕ ตำแหน่งจากวิธีหาค่าสัมประสิทธิ์สี่เหลี่ยมแบบ Sub pixel
- ✗ ตำแหน่งจากวิธีการลิสต์สแควร์



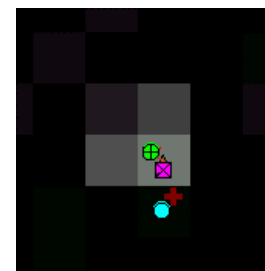
ตำแหน่งที่ 1



ตำแหน่งที่ 6



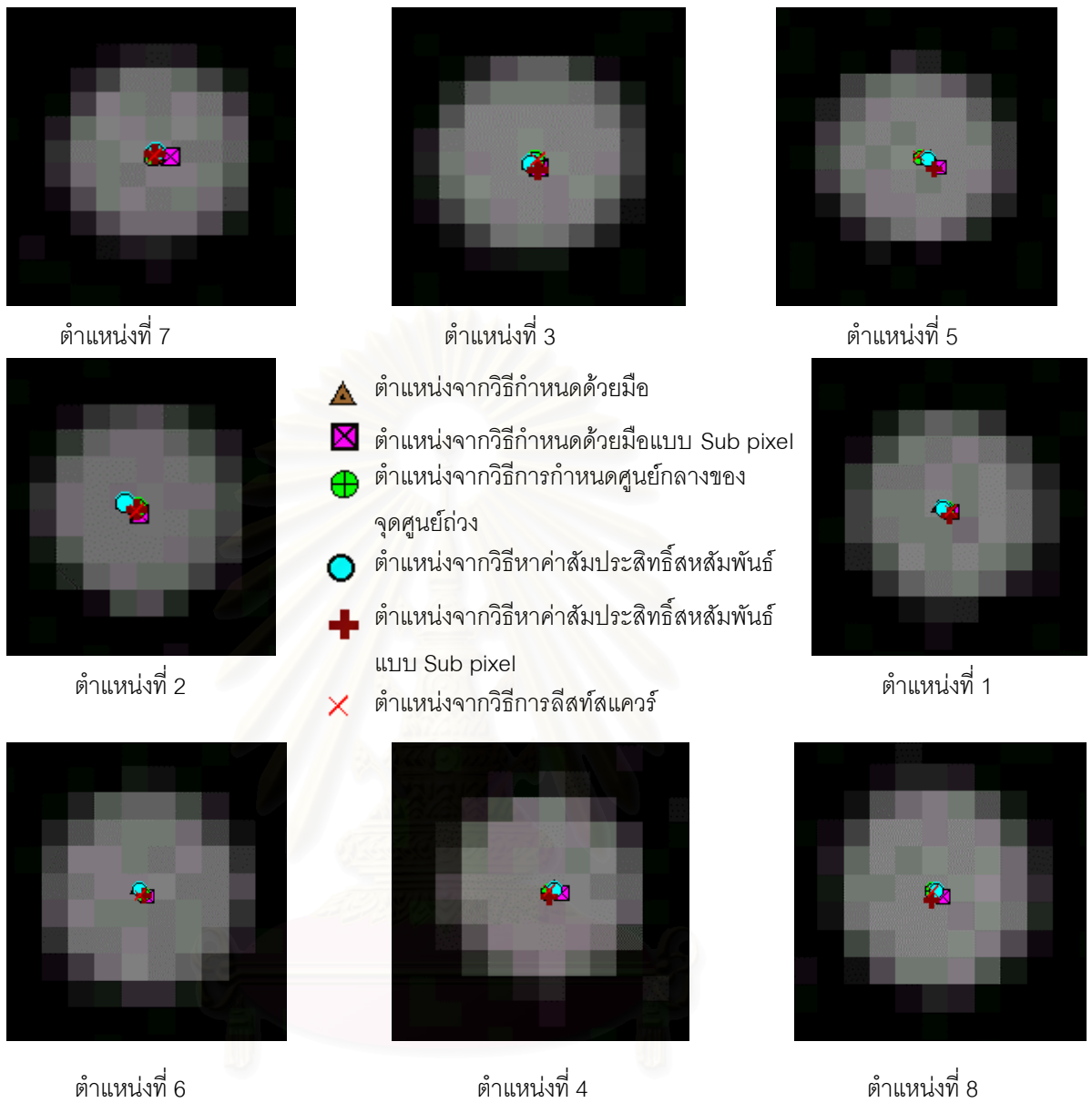
ตำแหน่งที่ 4



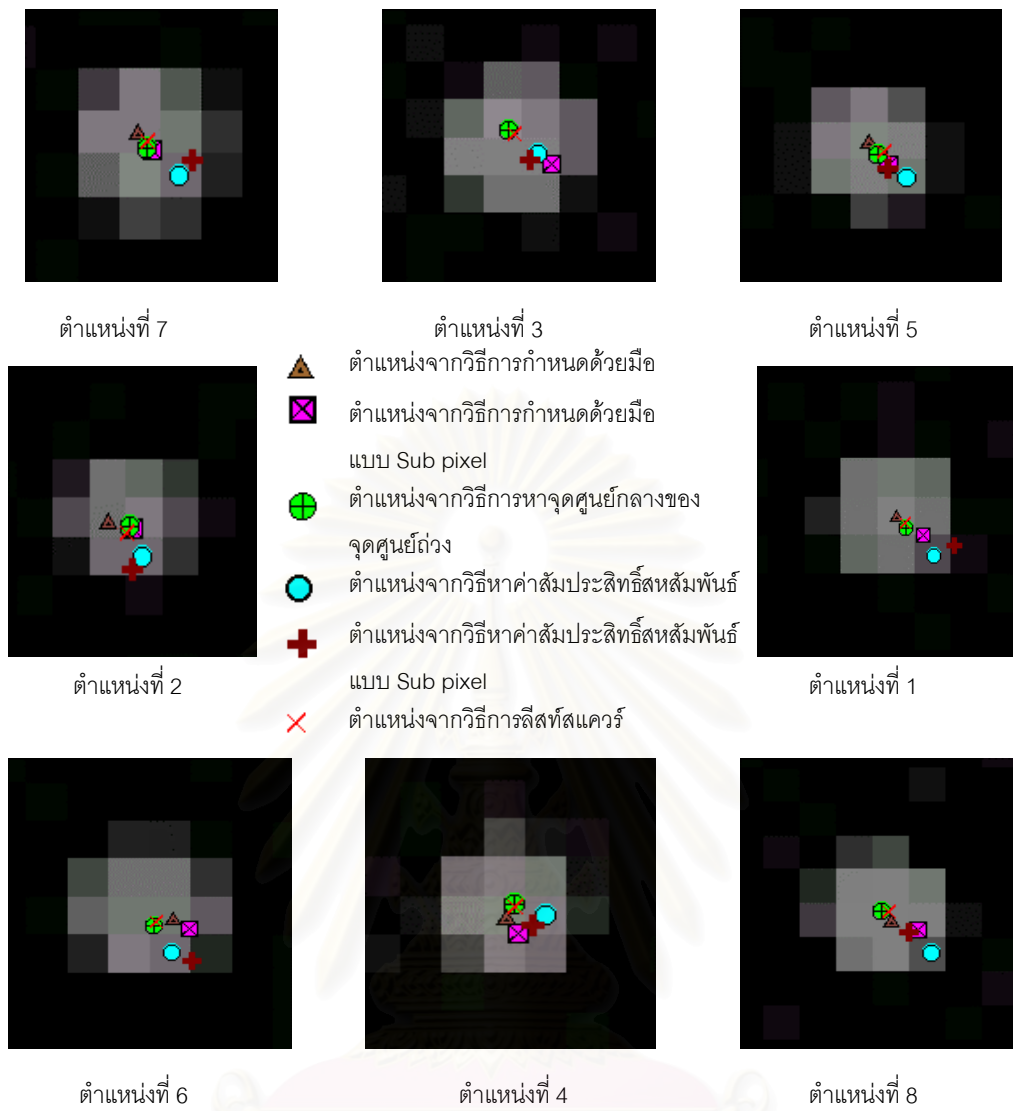
ตำแหน่งที่ 8

รูปที่ 4.4 แสดงตำแหน่งของค่าพิกัดโดยวิธีการต่างๆ บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

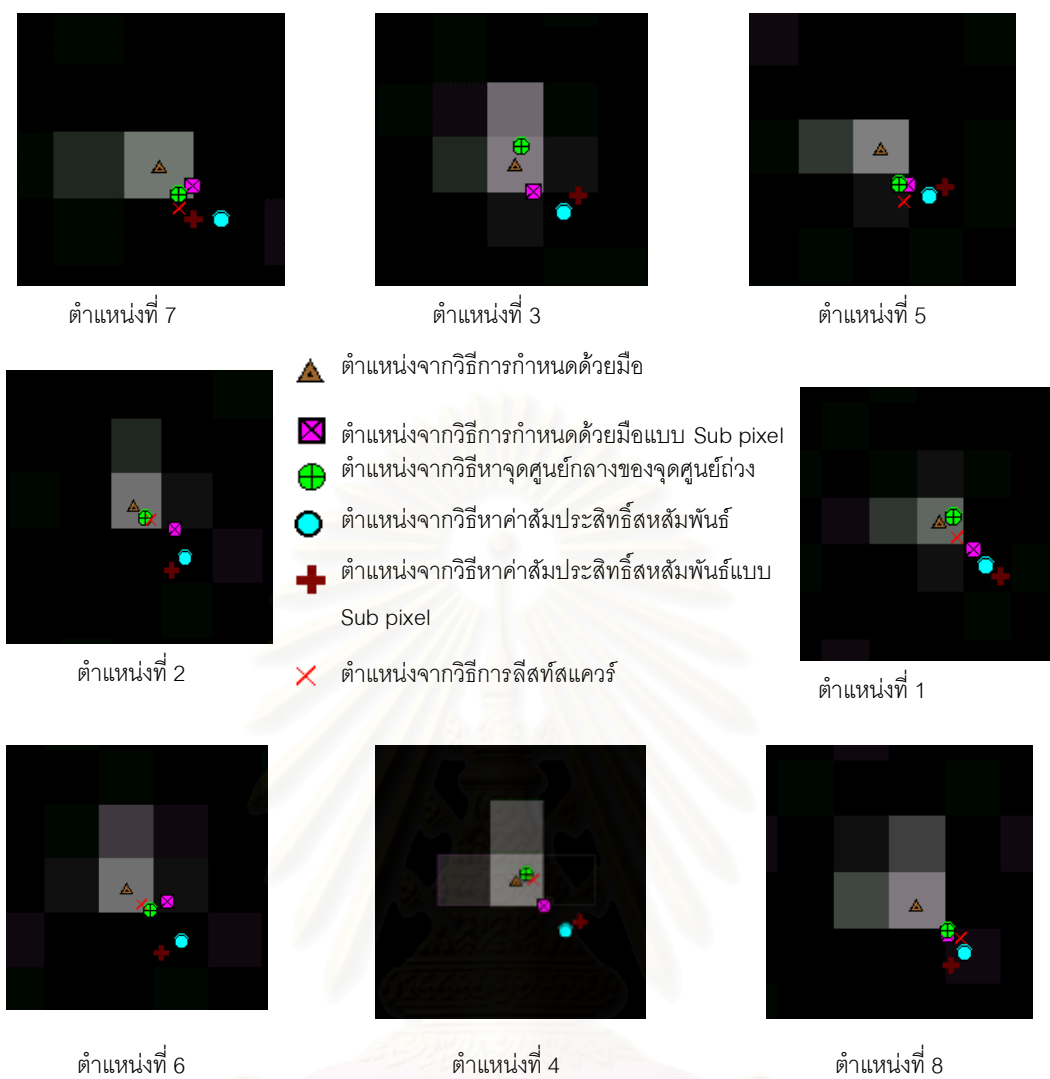
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 แสดงตำแหน่งของค่าพิกัดโดยวิธีการต่างๆ บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP



รูปที่ 4.6 แสดงตำแหน่งของค่าพิกัดโดยวิธีการต่างๆ บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP



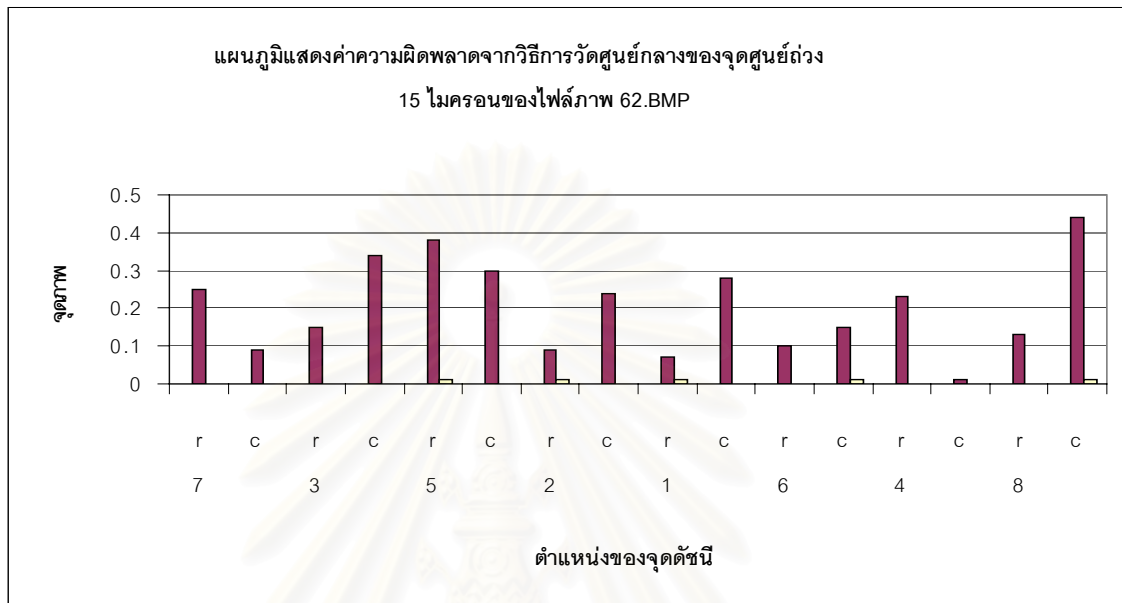
รูปที่ 4.7 แสดงตำแหน่งของค่าพิกัดโดยวิธีการต่างๆ บนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

4.6 แผนภูมิแสดงผลเปรียบเทียบวิธีการต่างๆแบบ Sub pixel

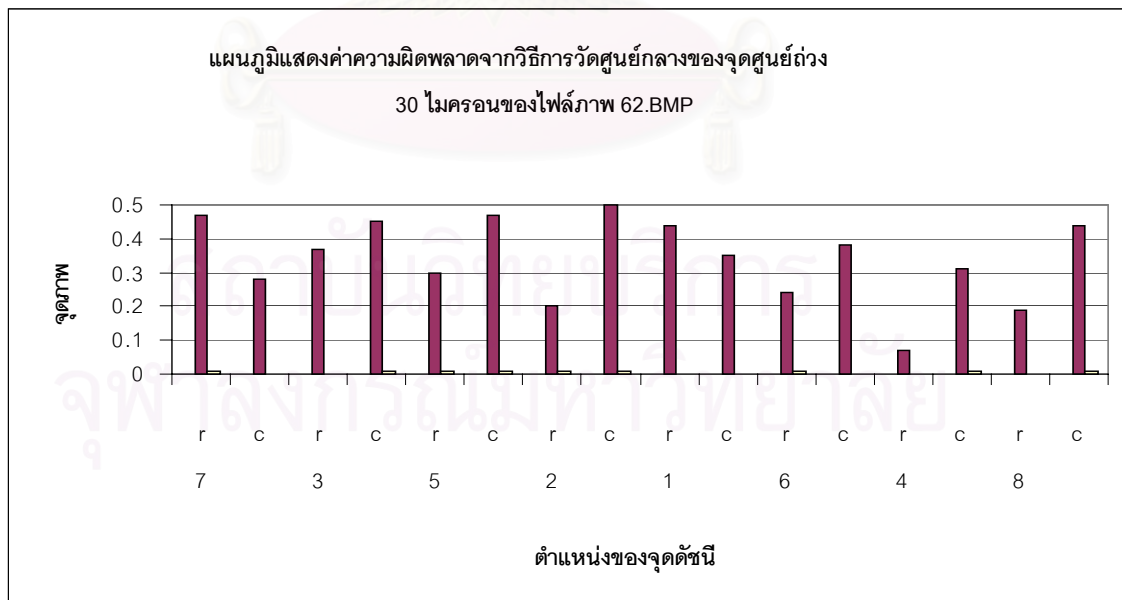
ผลจากการคำนวณหาตำแหน่งพิกัดของจุดดัชนีทั้ง 8 จุดบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขของไฟล์ภาพ 62.BMP และ 63.BMP ที่ความละเอียด 15 , 30 และ 60 ไมครอน พบว่าการคำนวณตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัชนีที่ให้ค่าพิกัดแบบ Sub pixel ให้ผลที่ถูกต้องมากกว่าแบบ full pixel ซึ่งวิธีการที่เป็นแบบ Sub pixel จะใช้วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง,วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Sub pixel และวิธีการลีสท์สแควร์มาเปรียบเทียบกัน โดยนำผลของความแตกต่างของค่าพิกัดศูนย์กลางของจุดดัชนีทั้ง 8 จุดในวิธีวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

แบบ Sub pixel และวิธีการลีสท์สแควร์มาเปรียบเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางแล้ว
แสดงเป็นแผนภูมิดังนี้

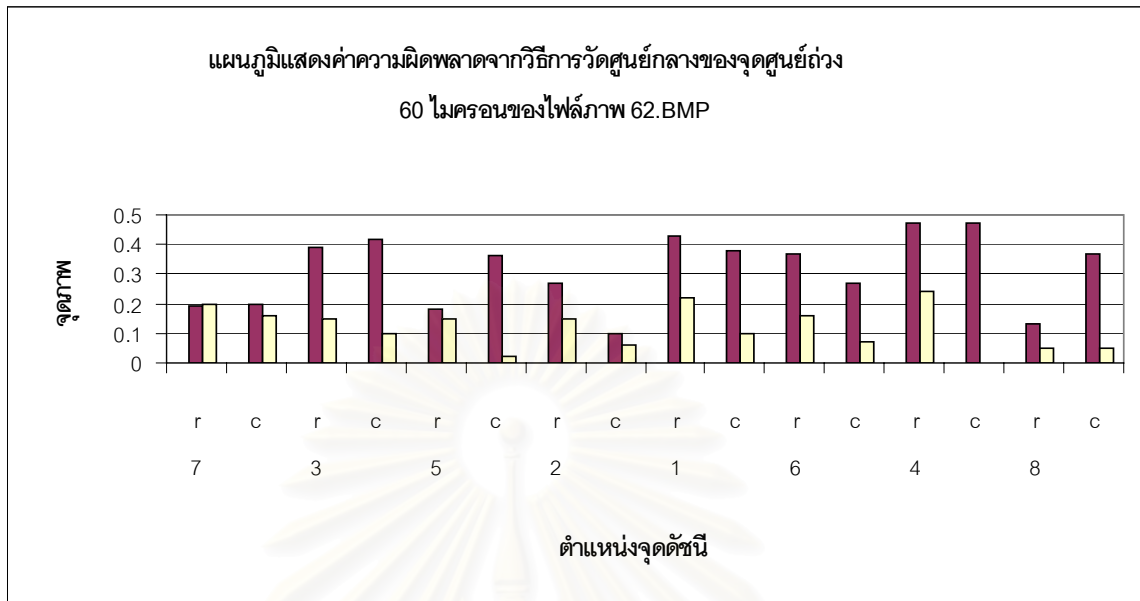
4.6.1 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบความต่างของค่าพิกัดของไฟล์ภาพ 62.BMP



รูปที่ 4.8 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบผลต่างของค่าพิกัดทั้ง 8 จุดแบบ Sub pixel ที่ความละเอียด
15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

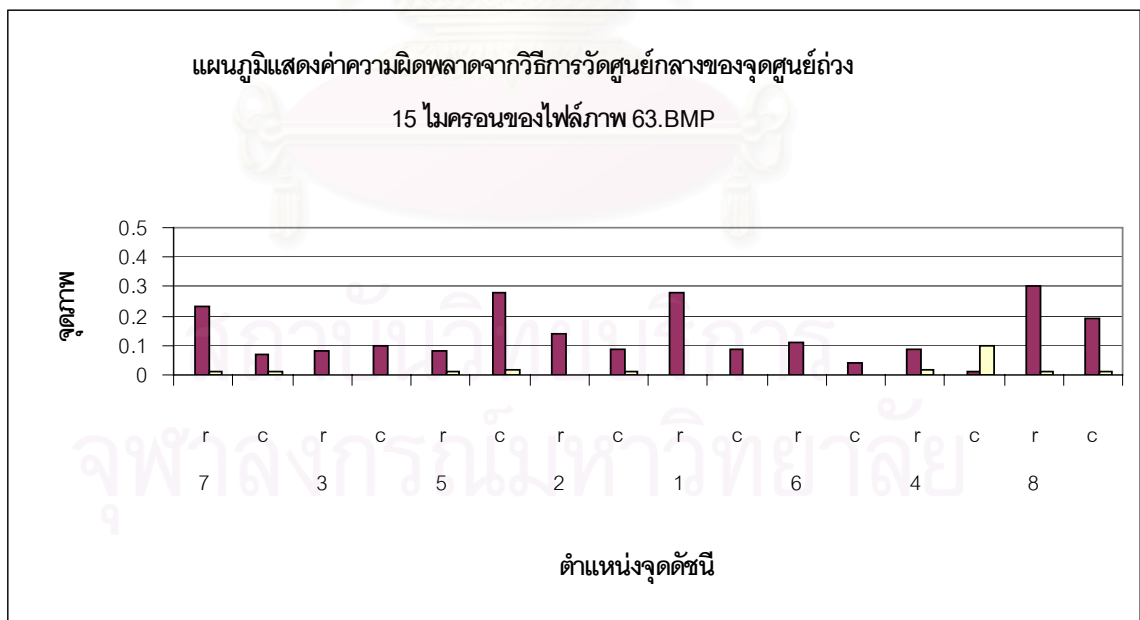


รูปที่ 4.9 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบผลต่างของค่าพิกัดทั้ง 8 จุดแบบ Sub pixel ที่ความละเอียด
30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

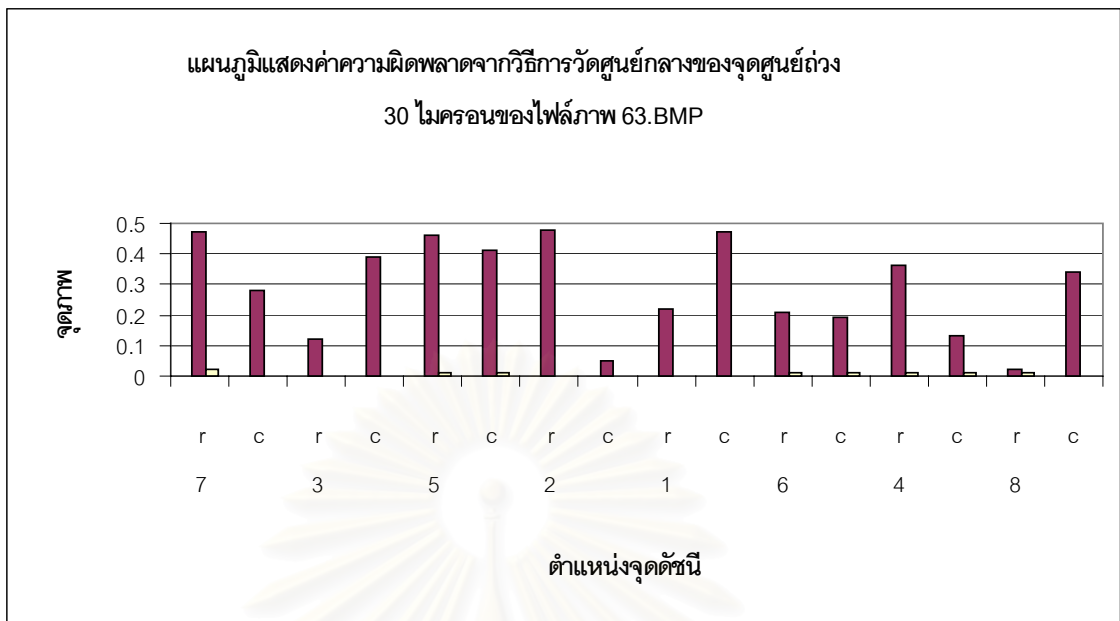


รูปที่ 4.10 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบผลต่างของค่าพิกัดทั้ง 8 จุดแบบ Sub pixel ที่ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 62.BMP

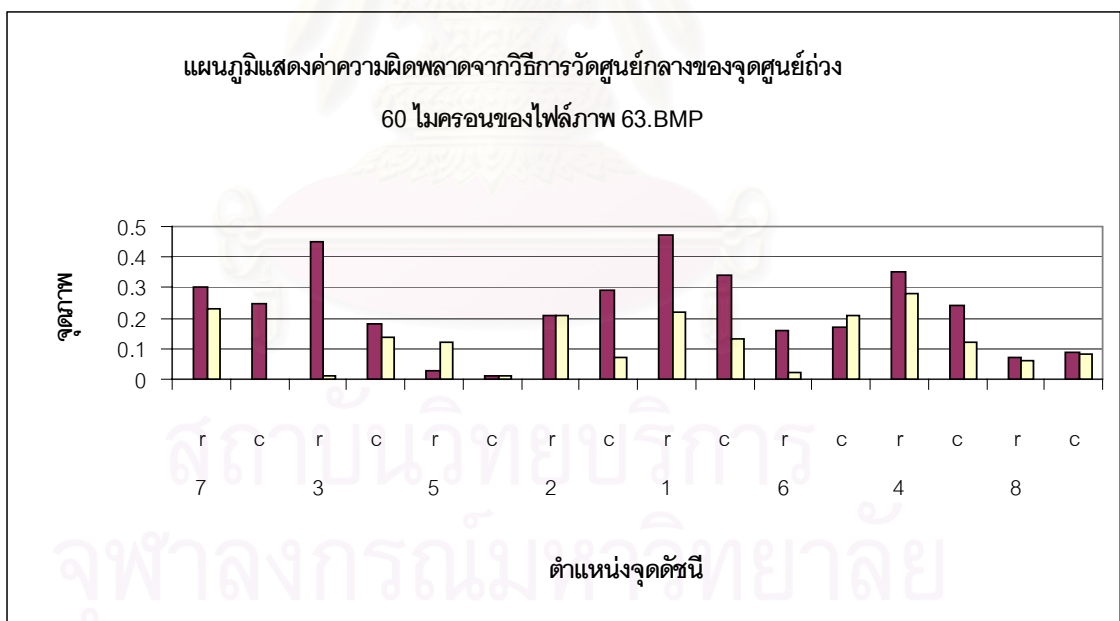
4.5.2 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบความต่างของค่าพิกัดของไฟล์ภาพ 63.BMP



รูปที่ 4.11 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบผลต่างของค่าพิกัดทั้ง 8 จุดแบบ Sub pixel ที่ความละเอียด 15 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP




รูปที่ 4.12 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบผลต่างของค่าพิกัดทั้ง 8 จุดแบบ Sub pixel ที่ความละเอียด 30 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP



รูปที่ 4.13 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบผลต่างของค่าพิกัดทั้ง 8 จุดแบบ Sub pixel ที่ความละเอียด 60 ไมครอนของไฟล์ภาพ 63.BMP

โดยที่

 วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Sub pixel

 วิธีการลีสท์สแควร์

r = row

c = column

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางวงมีค่าใกล้เคียงกันมากกับวิธีการลีสท์สแควร์ในภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่ความละเอียด 15 และ 30 ไมครอนโดยจะมีความแตกต่างที่จุดดัชนีทั้ง 8 จุดเมื่อเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางวงอยู่ในช่วงระหว่าง 0-0.01 จุดภาพ และที่ความละเอียด 60 ไมครอนเมื่อเปรียบเทียบวิธีการลีสท์สแควร์จะมีความแตกต่างของค่าพิกัดที่จุดดัชนีทั้ง 8 จุดเมื่อเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางวงอยู่ในช่วงระหว่าง 0-0.20 จุดภาพ ส่วนผลของค่าพิกัดจากวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Sub pixel จะมีความแตกต่างของค่าพิกัดที่จุดดัชนีทั้ง 8 จุดเมื่อเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางวงในช่วงระหว่าง 0-0.40 จุดภาพที่ความละเอียด 15 , 30 และ 60 ไมครอน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาพัฒนาโปรแกรมในการจับคู่ภาพ เพื่อที่จะทำการคำนวณหาค่าพิกัดของจุดศูนย์กลางของจุดดัดชนีในภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข หลังจากที่ได้ทำการนำภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความละเอียด 15 , 30 และ 60 ไมครอนมาทำการทดสอบกับโปรแกรมจับคู่ภาพที่ทำการเขียนขึ้นจากภาษา C แล้วให้โปรแกรมทำการคำนวณหาค่าพิกัดของจุดศูนย์กลางของจุดดัดชนี ซึ่งจะได้ค่าพิกัดของจุดดัดชนีที่เป็นค่าจำนวนเต็มและค่าจำนวนทศนิยมของจุดดัดชนีทั้ง 8 จุดบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขในแต่ละวิธี ซึ่งวิธีที่ใช้ในการหาตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัดชนีมี 6 วิธีคือ วิธีการกำหนดด้วยมือ , วิธีการกำหนดด้วยมือแบบ Sub pixel , วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง , วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ , วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Sub pixel และวิธีการลีสท์สแควร์ ซึ่งผลจากการทดสอบในแต่ละวิธีได้ผลดังนี้

ผลของค่าตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัดชนีทั้ง 8 จุดบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความละเอียด 15 , 30 และ 60 ไมครอนซึ่งทำการหาค่าพิกัดของจุดดัดชนีโดยวิธีต่างๆทั้ง 6 วิธีแล้วเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วงพบว่า ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขทั้ง 2 ภาพคือภาพ 62.BMP และภาพ 63.BMP ที่ความละเอียด 15 ไมครอนค่าพิกัดของจุดดัดชนีทั้ง 8 จุดมีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 0.1-0.2 จุดภาพเมื่อเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง ส่วนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขทั้ง 2 ภาพคือภาพ 62.BMP และภาพ 63.BMP ที่ความละเอียด 30 ไมครอนค่าพิกัดของจุดดัดชนีทั้ง 8 จุดมีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 0.1-0.5 จุดภาพเมื่อเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง และภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขทั้ง 2 ภาพคือภาพ 62.BMP และภาพ 63.BMP ที่ความละเอียด 60 ไมครอนค่าพิกัดของจุดดัดชนีทั้ง 8 จุดมีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 0.2-1 จุดภาพเมื่อเทียบกับวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางถ่วง ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ความละเอียด 60ไมครอนจะมีค่าความผิดพลาดมากเพราะขนาดของจุดภาพใหญ่บริเวณจุดดัดชนี

ผลของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขซึ่งผลของเวลาในการอ่านค่าความสว่างบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่เป็นภาพ Target matrix และ Search matrix จะไม่นำมาใช้ในการประมวลผลหาประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรม แต่เวลาที่ใช้ในการอ่านค่าความสว่างของภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีความละเอียด 15 ไมครอนเท่ากับ 16 นาที ส่วนที่ความละเอียด 30 เท่ากับ 3 นาทีและที่ความละเอียด 60 ไมครอนเท่ากับ 30 วินาที เมื่อทำการจับเวลาในการประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัดชนีทั้ง 8 จุดบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขได้ผลดังนี้

วิธีการกำหนดด้วยมือที่ความละเอียด 15 ไมครอนใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 3.43 นาทีส่วนที่ความละเอียด 30 ไมครอนใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 2.40 นาทีและที่ความละเอียด 60ไมครอนใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 2.06 นาที

วิธีการกำหนดด้วยมือแบบ Sub pixel เมื่อขยายภาพเป็น 4 เท่าที่ความละเอียด 15 ไมครอนใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 4.23 นาทีส่วนที่ความละเอียด 30 ไมครอนใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 3.30 นาทีและที่ความละเอียด 60 ไมครอนใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 2.56 นาที

ซึ่งวิธีการกำหนดด้วยมือจะใช้เวลามากเพราะต้องมีการซูมและค้นหาจุดดัชนีทั้ง 8 จุดเพื่อหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจุดดัชนีแต่ละจุด

ส่วนค้นหาตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัชนีโดยอัตโนมัติด้วยโปรแกรมมีผลดังนี้

วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Sub pixel เมื่อทำการขยายภาพเป็น 4 เท่า ที่ความละเอียด 15 , 30 และ 60 ไมครอนใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 1.7 วินาที

วิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางที่ความละเอียด 15 , 30 และ 60 ไมครอนใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 1.5 วินาที

วิธีการลิสต์สแควร์ที่ความละเอียด 15 , 30 และ 60 ไมครอนใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 4.2 วินาที

ดังนั้นจากผลของค่าพิกัดที่ได้แต่ละวิธีและระยะเวลาที่ใช้จะพบว่าถ้าไม่คำนึงถึงผลจากการเปิดภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่ความละเอียด 15 , 30 และ 60 ไมครอนเพื่ออ่านค่าความสว่างของภาพเชิงเลขก่อนทำการใช้โปรแกรมในการประมวลผลพบว่าวิธีการคำนวณแบบวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางจะให้ผลของค่าพิกัดที่มีความละเอียดถูกต้องและรวดเร็วกว่าวิธีการกำหนดด้วยมือ , วิธีการกำหนดด้วยมือแบบ Sub pixel , วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ , วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Sub pixel และวิธีการลิสต์สแควร์ทั้ง 8 จุดบนภาพถ่ายเชิงเลขโดยใช้เวลาในการประมวลผล 1.5 วินาที ซึ่งค่าพิกัดตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัชนีทั้ง 8 จุดที่ได้จากวิธีการวัดศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางจะมีค่าเป็นจำนวนทศนิยม ส่วนวิธีที่น่าเชื่อถือรองลงมาและมีค่าพิกัดของจุดดัชนีที่มีความละเอียดเป็นจำนวนทศนิยมเช่นกันคือวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Sub pixel และวิธีการลิสต์สแควร์ซึ่งใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 1.7 และ 4.2 วินาทีตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

หลังจากที่ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง การหาตำแหน่งของจุดดัชนีโดยอัตโนมัติด้วยเทคนิคการจับคู่ภาพ ซึ่งสามารถหาตำแหน่งศูนย์กลางของจุดดัชนีทั้ง 8 จุดในแต่ละวิธีการพบว่า การคำนวณที่ประมวลผลโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ยังคงใช้เวลาในการอ่านค่าความสว่างของภาพที่ทำการทดสอบจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของภาพ ถ้าภาพมีความละเอียดสูงจะทำให้ใช้เวลาในการอ่านค่าความสว่างของภาพนานก่อนที่จะเลือกวิธีการประมวลผล ดังนั้นจึงควรที่จะมีการปรับปรุงวิธีการให้สามารถอ่านค่าความสว่างภาพได้รวดเร็วในการพัฒนาต่อไป อีกทั้งวิธีการประมวลผลยังคงใช้เพียงหลักการของ Areabase Matching เพียงอย่างเดียว ทำให้ไม่ครอบคลุมในกรณีอื่นๆบนภาพเมื่อต้องการทำการจับคู่ตามรูปร่างของวัตถุบนภาพถ่ายเชิงเลขที่มีรูปร่างของวัตถุบนภาพที่แน่นอน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

วิชา จีวาลัย. การคำนวณปรับแก้. กรุงเทพฯ:(ม.ป.ป.),2522

ภาษาอังกฤษ

Aluir Porfirio Del Poz, Antonio Maria Garcia Tommaselli and Jorge Dimental Cintra.

Relational Matching applied to automatic extraction of ground control in digital image. IAPRS. XXXI, Part B3. (1996): 131-134

Chris Mcglone. Bundle adjustment with geometric constructions for hypothesis Evaluation. IAPRS. XXXI, Part B3. (1996): 529-534

Joachun Hohel, Prof. LDIP Inter [Online]. 2000. Available from: <http://ldipinter.sunsite.dk/>
[2000, Oct 29]

John R. Jensen. Introduction Digital Image Processing. New Jersey: Prentice-Hall, 1980

Jörg Albertz and Walter Kreling. Photogrammetric Guide. Germany: Herbert Wichmann, 1989

Karl Kraus and Peter Waldhausl. Photogrammetry. Vol. 1. Germany: WB-Druck, 1993,

Karl Kraus and Peter Waldhausl. Photogrammetry. Vol. 2. Germany: WB-Druck, 1997,

Wanshou JIANG, Guo ZHANG and Deren LI. A self-adaptive of automatic interior orientation for metric images. Geoinformatic & DMGIS. (2001): 23-25

Wolfgang Schickler, Zoltan Doth and Carl Ziess. The Automatic Interior Orientation and Its daily. IAPRS, XXXI, Part B3. (1996): 746-751

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก. ซอร์สโค้ดโปรแกรม

```
#include <except.h>
#include <iostream.h>
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#include <time.h>
#include <fstream.h>
#include "readbmp.h"
#include "Matrix.h"

/*Function*/
float correlation(float,float);
float meanpic(float,int,int);
unsigned char *
_LoadBMP(FILE*,int*,int*,int*);
////////////////////////////////////
class process
{
private:
/* center of Gravity */
int sigxcccg,sigycccg,dxcccg,dycccg;
float sumgxcccg,sumgycccg,sgdxcccg,sgdycccg;
float xcccg,ycccg;
/*-----*/
/*Correlation Coefficient*/
int rowcc[8],colcc[8];
int strccshow,stcccshow;
int rfiducc,cfiducc;
float sone,stwo,tonetwo,stvone,stvtwo,mstone,msttwo,sumot,sumvonetwo;
float ckMax,ckcc;
int numre,numcol;
int xonetwo,yonetwo;
```

```

int colp;
int xf,yf;
int rr_cc,cc_cc;
/*-----*/
/*adjustment*/
double paralsm[8];// parameter for LSM in adj
int loopxgra,loopygra;// loop gradient in adj
int Lnumone,Lnumtwo;//loop in LB
/*-----*/
/* find coordinate of fiducial mark*/
double txcross,tycross;
double oxcross,oycross;
////////////////////////////////////
public:
#define onelsm 1
#define clsm 8 //size parameter in adj
#define mlsm 3000//size parameter in adj
char savename[30],targetname[30],searchname[30];
FILE *picture;
time_t after,before;
#define rowpic_t 300 // set row graylevel target pic
#define colpic_t 300 // set col graylevel target pic
#define rowpic_s 16000 // set row graylevel search pic
#define colpic_s 16000 // set col graylevel search pic
int wco,hco,wct,hct;//set wide and height in class
int maxlpcc;int lpcc_xy,x_lsm[5],y_lsm[5],x_st,y_st,xsta[9],ysta[9],loopxsta;// cc
double xcglsm[9],ycglsm[9];int loopxycg;
/*-----*/
/*meanpictur*/
int sumvalone,sumvaltwo;
/*-----*/
float Max[5],cc,max_cc;
float Max_X[5],Max_Y[5],max_row,max_col;
/*-----*/
unsigned char **pvone,**pvtwo,**pvonecc,**pvinsertwo;

```



```
int i_lsm,loop_center;int nadj;//data adj
double SIG_TWO,SIG; //error
float **xgradient,**ygradient;
int xonels,yonels;//copy coordinate
int loopadj;
double diffism[8];
double paraadj[8];
/*-----
Creat function */
void creatmempicone(int,int);
void creatmempiconecc();
void creatmempictwo(int,int);
void creatmempictwonew();
void selmethod();
void savefile();
void creatmemxygradient();
void setwho(int,int);
void setwht(int,int);
void setdataacc();
void setdatacg();
void startprocess(int,int);
void cgpiconcc(unsigned char **,int,int);
void ccr(int,int,int,int,int,int,unsigned char **,unsigned char **);
void printcc();
void inputparaaffined();
void setparalsm();
void adjment(unsigned char **,unsigned char **,int,int,int*,int*);
void center_lsm(double*);
void pvonede_allocate(unsigned char **);
void pvtwode_allocate(unsigned char **);
void pvtwolsmde_allocate(unsigned char **);
void pvoneccde_allocate(unsigned char **);
void xgradientde_allocate(float **);
void ygradientde_allocate(float **);
```

```

};
////////////////////////////////////
int main()
{
/* file call function*/
process matching;
/*-----*/
//determinate of size array of least square and one dimension
#define uadj 8 //Parameter of LSM
char conwork;
char *pointcon;
/*creat save file*/
matching.savefile();
/* open picture one*/
do{
cout<<"Target Picture \n";
cout<<"Input Filename Target Picture : ";cin>>matching.targetname;
FILE *file_one=fopen((char*)matching.targetname,"rb");
if((file_one)==NULL)
{
printf("can't open file\n");
getch();
exit(1);
}
unsigned char *Mybitmap;
int w_o,h_o,t_o;
Mybitmap=_LoadBMP((FILE *)file_one,&w_o,&h_o,&t_o);
int row,col,multirc_o,nrow_o,ncol_o;
unsigned char num;
matching.creatmempicone(h_o,w_o);//set pointer of gray level
multirc_o=w_o*h_o*3;
row=0;nrow_o=0;ncol_o=0;
for(col=0;col<multirc_o;col++)
{
if((col%3)==0)

```

```

{
    num= *(Mybitmap+(row*w_o)+col);
    matching.pvone[nrow_o][ncol_o]=num;ncol_o+=1;
    if(ncol_o==h_o){nrow_o+=1;ncol_o=0;}
}
}
matching.setwho(w_o,h_o);
////////////////////////////////////
/*Properties Target picture */
    printf(matching.picture,"Target picture :\n");
    printf(matching.picture,"Row = %d Column = %d \n",h_o,w_o);
////////////////////////////////////
/*open picture two */
cout<<"Search Picture \n";
cout<<"Input Filename Picture two : ";cin>>matching.searchname;
FILE *file_two=fopen((char*)matching.searchname,"rb");
if((file_two)==NULL)
    {
        printf("can't open file\n");
        getch();
        exit(1);
    }
int w_t,h_t,t_t;
unsigned char *Mybitmaptwo;
Mybitmaptwo=_LoadBMP((FILE *)file_two,&w_t,&h_t,&t_t);
    int rowtwo,coltwo,nrow_t,ncol_t,mulrc_t;
    unsigned char numvaltwo;

matching.creatmempictwo(h_t,w_t);//set pointer of gray level
mulrc_t=w_t*h_t*3;
rowtwo=0;nrow_t=0;ncol_t=0;
for(coltwo=0;coltwo<mulrc_t;coltwo++)
{
    if((coltwo%3)==0)
    {
        numvaltwo= *(Mybitmaptwo+(rowtwo*w_t)+coltwo);

```

```

        matching.pvtwo[nrow_t][ncol_t]=numvaltwo;ncol_t+=1;
    if(ncol_t==h_t){nrow_t+=1;ncol_t=0;}
}
}
matching.setwht(w_t,h_t);
////////////////////////////////////
/*Properties of Search picture */
    fprintf(matching.picture,"Search picture :\n");
    fprintf(matching.picture,"Row = %d Column = %d \n",h_t,w_t);
////////////////////////////////////
/* find correlation cofficial (Full pixel)and Least Square Matching(sub pixel)*/
/*creat memory parameter Correlation Cofficial*/
    matching.creatmempiconecc();
/*-----*/
/*creat memory parameter lsm*/
    matching.creatmemxygradient();
    matching.creatmempictwonew();//set pointer of gray level
/*-----*/
    matching.setdataacc();
/*Point start to run*/
    matching.startprocess(w_t,h_t);
////////////////////////////////////
    matching.selmethod();/*Set Time*/
    fprintf(matching.picture,"end LSM\n");time(&matching.before);
    fprintf(matching.picture,"after time :%s\n", ctime(&matching.before));
/*-----*/
//END LEAST SQUARE MATCHING
fprintf(matching.picture, "*****\n");
cout<<"Do you want to continue work(y/n)? .:";cin>>conwork;
pointcon=&conwork;
/*-----*/
/*Close file*/
fclose(file_one);
fclose(file_two);
/*-----*/

```

```

}while((*pointcon != 'n')&&(*pointcon != 'N'));
fclose(matching.picture);
return(0);
}
////////////////////////////////////
/*function define correlation*/
float correlation(float sumvonetwo,float sumot)
{
    float sqvonetwo;sqvonetwo=sqrt(sumvonetwo);
    float ccl;ccl=sumot/sqvonetwo;
    return ccl;
}
float meanpic(float sumpic,int mean_w,int mean_h)
{
    return sumpic/(mean_w * mean_h);
}
void process::creatmempicone(int rmempic_t,int cmempic_t)
{
    /* set parameter picture one */
    try { // TEST FOR EXCEPTIONS.
        pvone = new unsigned char*[rmempic_t]; // STEP 1: SET UP THE ROWS.
        for (int j = 0; j < rmempic_t; j++)
            pvone[j] = new unsigned char[cmempic_t]; // STEP 2: SET UP THE COLUMNS
    }
    catch (xalloc) { // ENTER THIS BLOCK ONLY IF xalloc IS THROWN.
        // YOU COULD REQUEST OTHER ACTIONS BEFORE TERMINATING
        cout << "Could not allocate. Bye ...";
        exit(-1);
    }
}
void process::creatmempiconecc()
{
    /* set parameter picture one cc */
    try { // TEST FOR EXCEPTIONS.
        pvonecc = new unsigned char*[rowpic_s]; // STEP 1: SET UP THE ROWS.

```

```

    for (int j = 0; j < rowpic_s; j++)
        pnonecc[j] = new unsigned char[colpic_s]; // STEP 2: SET UP THE COLUMNS
    }
catch (xalloc) { // ENTER THIS BLOCK ONLY IF xalloc IS THROWN.
    // YOU COULD REQUEST OTHER ACTIONS BEFORE TERMINATING
    cout << "Could not allocate. Bye ...";
    exit(-1);
}
}

void process::creatmempictwo(int rmempic_s,int cmempic_s)
{
    /* set parameter picture two */
    try { // TEST FOR EXCEPTIONS.
        pvtwo = new unsigned char*[rmempic_s]; // STEP 1: SET UP THE ROWS.
        for (int j = 0; j < rmempic_s; j++)
            pvtwo[j] = new unsigned char[cmempic_s]; // STEP 2: SET UP THE COLUMNS
    }
catch (xalloc) { // ENTER THIS BLOCK ONLY IF xalloc IS THROWN.
    // YOU COULD REQUEST OTHER ACTIONS BEFORE TERMINATING
    cout << "Could not allocate. Bye ...";
    exit(-1);
}
}

void process::creatmempictwonew()
{
    /* set parameter picture two inser*/
    try { // TEST FOR EXCEPTIONS.
        pvinsertwo = new unsigned char*[rowpic_s]; // STEP 1: SET UP THE ROWS.
        for (int j = 0; j < rowpic_s; j++)
            pvinsertwo[j] = new unsigned char[colpic_s]; // STEP 2: SET UP THE COLUMNS
    }
catch (xalloc) { // ENTER THIS BLOCK ONLY IF xalloc IS THROWN.
    // YOU COULD REQUEST OTHER ACTIONS BEFORE TERMINATING
    cout << "Could not allocate. Bye ...";
}
}

```

```

        exit(-1);
    }
}

void process::creatmemxygradient()
{
    // set parameter xgradient
    try { // TEST FOR EXCEPTIONS.
        xgradient = new float*[rowpic_t];    // STEP 1: SET UP THE ROWS.
        for (int j = 0; j < rowpic_t; j++)
            xgradient[j] = new float[colpic_t]; // STEP 2: SET UP THE COLUMNS
    }
    catch (xalloc) { // ENTER THIS BLOCK ONLY IF xalloc IS THROWN.
        // YOU COULD REQUEST OTHER ACTIONS BEFORE TERMINATING
        cout << "Could not allocate. Bye ...";
        exit(-1);
    }
}

/*-----*/

//set parameter ygradient
try { // TEST FOR EXCEPTIONS.
    ygradient = new float*[rowpic_t];    // STEP 1: SET UP THE ROWS.
    for (int j = 0; j < rowpic_t; j++)
        ygradient[j] = new float[colpic_t]; // STEP 2: SET UP THE COLUMNS
}
catch (xalloc) { // ENTER THIS BLOCK ONLY IF xalloc IS THROWN.
    // YOU COULD REQUEST OTHER ACTIONS BEFORE TERMINATING
    cout << "Could not allocate. Bye ...";
    exit(-1);
}
}

void process::savefile()
{
    cout<<"Output Data in filename is :";cin>>savename;
    if((picture=fopen((char *)savename,"w"))==NULL)
    {
        printf("cannot open file \n");
    }
}

```

```

    exit(0);
}
}
void process::setwho(int rco,int cco)
{
wco=rco;hco=cco;
}
void process::setwht(int rct,int cct)
{
wct=rct;hct=cct;
}
void process::setdatacg()
{
//For cg
sumgxcccg=0;sumgycccg=0;xcccg=0;ycccg=0;
sgdxcccg=0;sgdycccg=0;
}
void process::setdatacc()
{
//For CC
ckMax=0;stvone=0;stvtwo=0;sumot=0;sumvalone=0;sumvaltwo=0;lpcc_xy=0;strccsho=0;stcccsho
w=0;
}
void process::cgpiconcc(unsigned char **pvcgoftwo,int rowcccg,int colcccg)
{
printf(picture,"point number :%d\n",loopxycg);/* point number follow cc*/
for (int icg=rowcccg;icg<(rowcccg+hco);icg++)
{
for(int jcg=colcccg;jcg<(colcccg+wco);jcg++)
{
dxcccg=jcg;dycccg=icg;
sigxcccg = pvcgoftwo[icg][jcg]*dxcccg;sigycccg = pvcgoftwo[icg][jcg]*dycccg;
sgdxcccg += sigxcccg;sgdycccg += sigycccg;
sumgxcccg += pvcgoftwo[icg][jcg];sumgycccg += pvcgoftwo[icg][jcg];
dxcccg=0;dycccg=0;
}
}
}

```



```

    }
}
xcccg=sgdxcccg/sumgxcccg;ycccg=sgdycccg/sumgycccg;
xcglsm[loopxycg]=xcccg;ycglsm[loopxycg]=ycccg;
loopxycg+=1;
fprintf(picture,"*****\n");
fprintf(picture,"Result of Center of fiducial mark by Center of Gravity (Sub Pixel):\n");
fprintf(picture,"*****\n");
fprintf(picture,"C.G. of X = %0.2f Pixel\n",xcccg);
fprintf(picture,"C.G. of Y = %0.2f Pixel\n",ycccg);
fprintf(picture,"*****\n");
}
void process::startprocess(int rowstpt,int colstpt)
{
loopxsta=0;fprintf(picture,"start cc:\n");time(&after);
fprintf(picture,"after time :%s\n", ctime(&after));
    /*For picture file BMP resolution 15 micron*/
    if((rowstpt>15000)&&(colstpt>15000))
    { cout<<"Picture at 15 Micron\n";
for(int i=0;i<8;i++)
{
fprintf(picture,"*****\n");
if(i==0){rowcc[0]=0;colcc[0]=0;fprintf(picture," point number 7 \n");}
else if(i==1){rowcc[1]=0;colcc[1]=7530;fprintf(picture," point number 3 \n");}
else if(i==2){rowcc[2]=0;colcc[2]=15060;fprintf(picture," point number 5 \n");}
else if(i==3){rowcc[3]=7530;colcc[3]=0;fprintf(picture," point number 2 \n");}
else if(i==4){rowcc[4]=7530;colcc[4]=15060;fprintf(picture," point number 1 \n");}
else if(i==5){rowcc[5]=15060;colcc[5]=0;fprintf(picture," point number 6 \n");}
else if(i==6){rowcc[6]=15060;colcc[6]=7530;fprintf(picture," point number 4 \n");}
else if(i==7){rowcc[7]=15060;colcc[7]=15060;fprintf(picture," point number 8 \n");}
fprintf(picture,"*****\n");
    ccr(rowcc[i],colcc[i],hco,wco,rowstpt,colstpt,pvone,pvtwo);
}
} /*For picture file BMP resolution 30 micron*/
else if((rowstpt>7000)&&(colstpt>7000))

```

```

{ cout<<"Picture at 30 Micron\n";
    for(int i=0;i<8;i++)
    {
        fprintf(picture,"*****\n");
        if(i==0){rowcc[0]=0;colcc[0]=0;fprintf(picture," point number 7 \n");}
        else if(i==1){rowcc[1]=0;colcc[1]=3760;fprintf(picture," point number 3 \n");}
        else if(i==2){rowcc[2]=0;colcc[2]=7520;fprintf(picture," point number 5 \n");}
        else if(i==3){rowcc[3]=3760;colcc[3]=0;fprintf(picture," point number 2 \n");}
        else if(i==4){rowcc[4]=3760;colcc[4]=7520;fprintf(picture," point number 1 \n");}
        else if(i==5){rowcc[5]=7520;colcc[5]=0;fprintf(picture," point number 6 \n");}
        else if(i==6){rowcc[6]=7520;colcc[6]=3760;fprintf(picture," point number 4 \n");}
        else if(i==7){rowcc[7]=7520;colcc[7]=7520;fprintf(picture," point number 8 \n");}
        fprintf(picture,"*****\n");
        ccr(rowcc[i],colcc[i],hco,wco,rowstpt,colstpt,pvone,pvtwo);
    }
}
else if((rowstpt>3700)&&(colstpt>3700))
{ cout<<"Picture at 60 Micron\n";
    for(int i=0;i<8;i++)
    {
        fprintf(picture,"*****\n");
        if(i==0){rowcc[0]=0;colcc[0]=0;fprintf(picture," point number 7 \n");}
        else if(i==1){rowcc[1]=0;colcc[1]=1880;fprintf(picture," point number 3 \n");}
        else if(i==2){rowcc[2]=0;colcc[2]=3760;fprintf(picture," point number 5 \n");}
        else if(i==3){rowcc[3]=1880;colcc[3]=0;fprintf(picture," point number 2 \n");}
        else if(i==4){rowcc[4]=1880;colcc[4]=3760;fprintf(picture," point number 1 \n");}
        else if(i==5){rowcc[5]=3760;colcc[5]=0;fprintf(picture," point number 6 \n");}
        else if(i==6){rowcc[6]=3760;colcc[6]=1880;fprintf(picture," point number 4 \n");}
        else if(i==7){rowcc[7]=3760;colcc[7]=3760;fprintf(picture," point number 8 \n");}
        fprintf(picture,"*****\n");
        ccr(rowcc[i],colcc[i],hco,wco,rowstpt,colstpt,pvone,pvtwo);
    }
}
else
{ cout<<"Picture at gernal \n";

```

```

        rowcc[0]=0;colcc[0]=0;
        ccr(rowcc[0],colcc[0],hco,wco,rowstpt,colstpt,pvone,pvtwo);
    }
}

void process::ccr(int strowcc,int stolcc,int hcc_o,int wcc_o,int hcc_t,int wcc_t,unsigned char
**pvtargetcc,unsigned char **pvsearchcc)
{
    strccshow=strowcc;stcccshow=stolcc;
    if((hcc_t>15000)&&(wcc_t>15000)){/*Picture at 15 Micron*/
        rfiducc=strowcc+60;cfiducc=stolcc+60;}
    else if((hcc_t>7000)&&(wcc_t>7000)){/*Picture at 30 Micron*/
        rfiducc=strowcc+40;cfiducc=stolcc+40;}
    else if((hcc_t>3700)&&(wcc_t>3700)){/*Picture at 60 Micron*/
        rfiducc=strowcc+30;cfiducc=stolcc+30;}
    else{/*Picture at <60 Micron*/
        rfiducc=strowcc+hcc_t;cfiducc=stolcc+wcc_t;}
    numre=rfiducc-hcc_o+1;
    numcol=cfiducc-wcc_o+1;
    colp=cfiducc-wcc_o;cc_cc=stolcc;rr_cc=strowcc;
    /*Save gray level of target picture on pvonecc and sumvalue of gray */
    if((strowcc==0)&&(stolcc==0))
    {
        for(int jc=strowcc;jc<wcc_o;jc++)
        {
            for(int ic=stolcc;ic<hcc_o;ic++)
            {
                pvonecc[ic][jc]=pvtargetcc[ic][jc];
                sumvalone+=pvtargetcc[ic][jc];/*Mean pic target*/
            }
        }
        fprintf(picture,"GrayLevel of Target picture :\n");
        fprintf(picture,"sizerow = %d sizecol = %d\n",wcc_o,hcc_o);
    }
    else
    {

```

```

int rowslide,colslide;rowslide=0;colslide=0;
for(int ic=strowcc;ic<(strowcc+wcc_o);ic++)
{
for(int jc=stcolcc;jc<(stcolcc+hcc_o);jc++)
{
pvonecc[ic][jc]=pvtargetcc[rowslide][colslide++];
if(colslide==hcc_o){colslide=0;rowslide+=1;}
}
}
fprintf(picture,"GrayLevel of Target picture :\n");
fprintf(picture,"sizerow = %d sizecol = %d\n",wcc_o,hcc_o);
for(int jc=0;jc<wcc_o;jc++)
{
for(int ic=0;ic<hcc_o;ic++)
{
sumvalone+=pvtargetcc[ic][jc];/*Mean pic target*/
}
}
}
/*-----*/
/*Mean pic Search*/
for(int is=stcccshow;is<rfiducc;is++)
{
for(int js=stcccshow;js<cfiducc;js++)sumvaltwo += pvsearchcc[is][js];
}
fprintf(picture,"GrayLevel of Search picture :\n");
fprintf(picture,"sizerow = %d sizecol = %d\n",(rfiducc-strowcc),(cfiducc-stcolcc));
/*-----*/
/* Find Correlation Cofficial */
for(int redown=stcccshow;redown<numre;redown++)
{
for(int colleft=stcccshow;colleft<numcol;colleft++)
{
for(int j=colleft;j<(wcc_o+colleft);j++)
{

```

```

        for(int i=redown;i<(hcc_o+redown);i++)
        {
            sone = pvonecc[i][j]-meanpic(sumvalone,wco,hco);
            stwo = pvsearchcc[i][j]-meanpic(sumvaltwo,cfiducc,rfiducc);
            tonetwo =sone*stwo;sumot += tonetwo;
            mstone = sone*sone;msttwo=stwo*stwo;
            stvone += mstone;stvtwo += msttwo;
        }
    }
    sumvonetwo = stvone*stvtwo;
    cc=correlation(sumvonetwo,sumot);
    xonetwo=wcc_o/2+colleft;
    yonetwo=hcc_o/2+redown;
    /*Find Maximum and Minimum CC.*/
    if(cc>ckMax)
    {
        ckMax=cc;
        if((ckMax>0.65)&&(ckMax<0.99))
        {
            x_lsm[lpcc_xy]=colleft+1;y_lsm[lpcc_xy]=redown+1;
            Max[lpcc_xy]=ckMax;Max_X[lpcc_xy]=xonetwo;Max_Y[lpcc_xy]=yonetwo;
            lpcc_xy+=1;
        }
    }
    /*-----*/
    if(cc_cc>=numcol){cc_cc=stcccshow;rr_cc+=1;}
    int r_cc,c_cc;r_cc=0;c_cc=0;
    /*Side Position at Picture one*/
    if(colleft==colp){
        for(int j=stcolcc;j<(wcc_o+stcolcc);j++)
        {
            for(int i=redown;i<(hcc_o+redown);i++)
            {
                pvonecc[i+1][j+1]=pvtargetcc[r_cc][c_cc];r_cc+=1;
                if(r_cc==hco){r_cc=0;c_cc+=1;}
            }
        }
    }

```



```

        setparalsm();adjment(pvone,pvtwo,nadj,uadj,xsta,ysta);
    }
void process::printcc()
{
    fprintf(picture,"Number of point = %d\n",maxlpcc);
    //Maximum Correlation Cofficial and Position at X,Y
    for(int i=0;i<maxlpcc;i++)
    {
        fprintf(picture,"*****\n");
        fprintf(picture,"Result of Center of fiducial mark by Correlation Coefficient (Full Pixel):\n");
        fprintf(picture,"*****\n");

        fprintf(picture,"X_MAX(Pixel)=%0.0f\nY_MAX(Pixel)=%0.0f\nCC_MAX=%0.1f\n",Max_X[i],Max_Y[i],Ma
x[i]);
    }
}
void process::setparalsm()
{
    nadj=wco*hco;
    loopadj=0;
    for(int i=0;i<8;i++)
    {
        paralsm[i]=0;
        if((i==1)||(i==5)||(i==7)){paralsm[i]=1;}
    }
    for(int i=0;i<8;i++)diffism[i];
}
void process::adjment(unsigned char**pvonelsm,unsigned char**pvtwolsm,int rry,int ccx,int xrism[
],int yclsm[ ])
{
    /*-----*/
    fprintf(picture,"+++++++\n");
    fprintf(picture,"Least Square Matching \n");
    fprintf(picture,"+++++++\n");
    /*-----*/

```

```

loop_center=0;loopxycg=0;
for(i_lsm=0;i_lsm<8;i_lsm++)
{
printf(picture,"Point Number = %d\n",i_lsm+1));
for(int lplsm=0;lplsm<2;lplsm++)
{
TMatrix
A(mlsm,clsm),N(clsm,clsm),V(mlsm,onelsm),U(clsm,onelsm),L(mlsm,onelsm),X(clsm,onelsm);
TMatrix LB(mlsm,onelsm),LO(mlsm,onelsm),LAD(mlsm,onelsm),ADX(clsm,onelsm),XO(clsm,onelsm);
TMatrix N_INVERSE(clsm,clsm),V_T(mlsm,onelsm),QXX(clsm,clsm),A_T(clsm,mlsm);
TMatrix ATPV(clsm,onelsm),VTPV(onelsm,onelsm);
printf(picture,"Loop = %d\n",i_lsm+1));
if(lplsm==0)
{
int diffgrot;
int radgo,cadgo,r_adg,c_adg;
diffgrot=0;radgo=0;cadgo=0;r_adg=yclsm[i_lsm];c_adg=xrlsm[i_lsm];
for (int i=r_adg;i<(r_adg+hco);i++)
{
for(int j=c_adg;j<(c_adg+wco);j++)
{
diffgrot=pvonelsm[radgo][cadgo]-pvtwolsm[i][j];
if(abs(diffgrot)>=3){pvinsertwo[i][j]=pvonelsm[radgo][cadgo];}
else if(abs(diffgrot)<3){pvinsertwo[i][j]=pvtwolsm[i][j];}
else if(abs(diffgrot)==0){pvinsertwo[i][j]=pvtwolsm[i][j];}
cadgo+=1;diffgrot=0;
}
if(cadgo==wco){cadgo=0;radgo+=1;}
}
}
}
// form Matrix LO
//Defind gradient line x of picture two
int loopxgra_r,loopxgra_c,ckcolgra; loopxgra_r=0; loopxgra_c=0;ckcolgra=xrlsm[i_lsm];
for(int i=yclsm[i_lsm];i<(yclsm[i_lsm]+hco);i++)
{

```



```

        for(int j=xrlsm[i_lsm];j<(xrlsm[i_lsm]+wco);j++)
        {
            if(j==xrlsm[i_lsm]){ xgradient[loopxgra_r][loopxgra_c]=((pvinsertwo[i][j+1]-pvinsertwo[i][j])/((j+1)-j));}
            if(j==((xrlsm[i_lsm]+wco)-1)){xgradient[loopxgra_r][loopxgra_c]=((pvinsertwo[i][j]-pvinsertwo[i][j-1])/((j)-(j-1)));}
            if((j!=xrlsm[i_lsm]) && (j!=((xrlsm[i_lsm]+wco)-1))){xgradient[loopxgra_r][loopxgra_c]=((pvinsertwo[i][j+1]-pvinsertwo[i][j-1])/((j+1)-(j-1)));}
            loopxgra_c+=1;ckcolgra+=1;if(ckcolgra==(xrlsm[i_lsm]+wco)){loopxgra_c=0;loopxgra_r+=1;ckcolgra=xrlsm[i_lsm];}
        }
    }
    ////////////////////////////////////////////////////
    //Defind gradient line y of picture two
        loopxgra_r=0; loopxgra_c=0;ckcolgra=xrlsm[i_lsm];
        for(int i=yclsm[i_lsm];i<(yclsm[i_lsm]+hco);i++)
        {
            for(int j=xrlsm[i_lsm];j<(xrlsm[i_lsm]+wco);j++)
            {
                if(j==xrlsm[i_lsm]){ ygradient[loopxgra_r][loopxgra_c]=((pvinsertwo[i+1][j]-pvinsertwo[i][j])/((i+1)-i));}
                if(j==((xrlsm[i_lsm]+wco)-1)){ygradient[loopxgra_r][loopxgra_c]=((pvinsertwo[i][j]-pvinsertwo[i-1][j])/((i)-(i-1)));}
                if((j!=xrlsm[i_lsm]) && (j!=((xrlsm[i_lsm]+wco)-1))){ygradient[loopxgra_r][loopxgra_c]=((pvinsertwo[i+1][j]-pvinsertwo[i-1][j])/((i+1)-(i-1)));}
                loopxgra_c+=1;ckcolgra+=1;if(ckcolgra==(xrlsm[i_lsm]+wco)){loopxgra_c=0;loopxgra_r+=1;ckcolgra=xrlsm[i_lsm];}
            }
        }
    ////////////////////////////////////////////////////
    //Define LO from picture one
        //parameter LO
        int loopnumx;//loop in tranformation
        double xtran,ytran;
        double xinteger,yinteger;
        int xtranint,ytranint;
        xonels=xrlsm[i_lsm];yonels=yclsm[i_lsm];loopnumx=(xrlsm[i_lsm]+wco);

```

```

for(int i=0;i<ccx;i++)fprintf(picture,"paralsm[%d]=%f\n",i,paralsm[i]);
    for(int i=0;i<nadj;i++)
    {
        if(xonels==loopnumx){xonels=xrlsm[i_lsm];yonels+=1;}
        xtran=paralsm[0]+(paralsm[1]*xonels)+(paralsm[2]*yonels);
        ytran=paralsm[3]+(paralsm[4]*xonels)+(paralsm[5]*yonels);
        xinteger=(xtran-floor(xtran))*10;yinteger=(ytran-floor(ytran))*10;
        if((xinteger>=5)){xtranint=ceil(xtran);}
        else{xtranint=floor(xtran);}
        if((yinteger>=5)){ytranint=ceil(ytran);}
        else{ytranint=floor(ytran);}
        if(xtranint<0){xtranint=0;}
        if(ytranint<0){ytranint=0;}
        // Defined LO
        LO[i][0]=paralsm[6]+(paralsm[7]*pvinsertwo[ytranint][xtranint]);
        xonels+=1;
    }
/*-----*/
//Form Matrix A
int N_gtx,N_gty;
yonels=yclsm[i_lsm];N_gtx=xrlsm[i_lsm];N_gty=yclsm[i_lsm];xonels=xrlsm[i_lsm];
loopxgra_r=0;loopxgra_c=0;
for(int i=0;i<rry;i++){
    for(int j=0;j<ccx;j++){
        switch(j){
            case 0:A[i][0]=1*xgradient[loopxgra_r][loopxgra_c];break;
            case 1:A[i][1]=xonels*xgradient[loopxgra_r][loopxgra_c];break;
            case 2:A[i][2]=yonels*xgradient[loopxgra_r][loopxgra_c];break;
            case 3:A[i][3]=1*ygradient[loopxgra_r][loopxgra_c];break;
            case 4:A[i][4]=xonels*ygradient[loopxgra_r][loopxgra_c];break;
            case 5:A[i][5]=yonels*ygradient[loopxgra_r][loopxgra_c];break;
            case 6:A[i][6]=1 ;break;
            case 7:A[i][7]=pvinsertwo[N_gty][N_gtx];break;
        }
    }
}

```

```

        xonels+=1;loopxgra_c+=1;
        N_gtx+=1;if(N_gtx==(xrlsm[i_lsm]+wco)){N_gtx=xrlsm[i_lsm];N_gty+=1;}
        if(xonels==(xrlsm[i_lsm]+wco)){
xonels=xrlsm[i_lsm];yonels+=1;loopxgra_c=0;loopxgra_r+=1;}
        }
/*-----*/
//Transpose Matrix A
A.Transpose();
A_T=A;
A.Transpose();
/*-----*/
//form Matrix LB
int loop_glx,loop_gly;loop_glx=0;loop_gly=0;
    for(int i=0;i<rry;i++)
    {
        LB[i][0]=pvonelsm[loop_gly][loop_glx];loop_glx+=1;
        if(loop_glx==hco){loop_gly+=1;loop_glx=0;}
    }
/*-----*/
//form Matrix L
for(int i=0;i<rry;i++)L[i][0]=LO[i][0]-LB[i][0];
/*-----*/
// Multi matrix A_TPA(N)
N=A_T*A;
/*-----*/
// Multi Matrix A_TPL(U)
U=A_T*L;
/*-----*/
//Inverse Matrix N
for(int k=0;k<ccx;k++)
{
    for(int j=0;j<ccx;j++) N_INVERSE[k][j]=N[k][j];
}
for(int k=0;k<ccx;k++)
{

```

```

for(int j=0;j<ccx;j++)
if(j!=k)N_INVERSE[k][j]=N_INVERSE[k][j]/N_INVERSE[k][k];
N_INVERSE[k][k]=1/N_INVERSE[k][k];
for(int i=0;i<ccx;i++)
if(i!=k)
{
for(int j=0;j<ccx;j++)
if(j!=k) N_INVERSE[i][j]=N_INVERSE[i][j]-N_INVERSE[i][k]*N_INVERSE[k][j];
N_INVERSE[i][k]=-N_INVERSE[i][k]*N_INVERSE[k][k];
}
}
}
}
}

/*-----*/
// Multi Matrix N_inverse.U
for(int i=0;i<ccx;i++)
for(int k=0;k<1;k++)
{
X[i][k]=0;
for(int j=0;j<ccx;j++)
X[i][k]=X[i][k]+(-N_INVERSE[i][j])*U[j][k];
}
}
}
}
}

/*-----*/
//Form Matrix XO
if((!plsm==0))
{
for(int i=0;i<ccx;i++)XO[i][0]=0;
XO[1][0]=XO[5][0]=XO[7][0]=1;
}
else{
for(int i=0;i<ccx;i++)XO[i][0]=paralsm[i];}
}

/*-----*/
// Find Matrix X at Adjustment
ADX=X+XO;
/*Diff XO*/
/*clear data diff*/
for(int i=0;i<ccx;i++)diffism[i]=0;

```

```

/*-----*/
if((loopadj==0))
{
for(int i=0;i<ccx;i++) {diffism[i]=ADX[i][0]-XO[i][0];}
}
else{
for(int i=0;i<ccx;i++) {diffism[i]=ADX[i][0]-XO[i][0];}
}
//Determinate a0,a1,a2,b0,b1,b2 ,r0,r1
for(int i=0;i<ccx;i++) {
for(int j=0;j<1;j++)paralsm[i]=ADX[i][j]; }
/*-----*/
// Find Matrix V
V=(A*X)+L;
/*-----*/
//Transpose Matrix V_T
V.Transpose();
V_T=V;
V.Transpose();
/*-----*/
//Multi V_TPV
VTPV=V_T*V;
/*-----*/
//Multi A_TPV
ATPV=A_T*V;
/*-----*/
// Find Matrix L adjustment
LAD=LB+V;
/*-----*/
//Find Sigma
SIG_TWO=VTPV[0][0]/(rry-ccx);
SIG=sqrt(SIG_TWO);
/*-----*/
//Find Covariance Matrix
for(int i=0;i<ccx;i++)

```

```

        {
for(int j=0;j<ccx;j++) QXX[i][j]=N_INVERSE[i][j];
}
/*
        //show matrix A
fprintf(picture," Matrix A \n");
fprintf(picture,"_____ \n");
        fprintf(picture,"  cloumn :\n");
        fprintf(picture,"Row : ");
for(int j=0;j<show_ccx;j++)
    {
        fprintf(picture,"%6d",j);fprintf(picture,"  ");
    }
    fprintf(picture,"\n");
    for(int i=0;i<show_rry;i++){
        fprintf(picture," %d : ",i);
        for(int j=0;j<show_ccx;j++){
            fprintf(picture," %.3f ",A[i][j]);fprintf(picture," ");
        }
        fprintf(picture,"\n");
    }
    fprintf(picture,"\n");
}
/*-----*/
//Show Matrix L
fprintf(picture,"L Matrix          \n");
fprintf(picture,"_____ \n");
        fprintf(picture,"  cloumn :\n");
        fprintf(picture,"Row : ");
for(int j=0;j<1;j++)
    {
        fprintf(picture,"%6d",j);
        fprintf(picture,"  ");
        fprintf(picture,"%6d",j);
    }
    fprintf(picture,"\n");

```

```

        for(int i=0;i<rry;i++){
            fprintf(picture," %d : ",i);
            for(int j=0;j<1;j++){
                fprintf(picture," %f ",LAD[i][j]);
                fprintf(picture," ");
                fprintf(picture,"%f ",L[i][j]);
                fprintf(picture," ");
                fprintf(picture,"%f ",LO[i][j]);
                fprintf(picture," ");
                fprintf(picture,"%f ",LB[i][j]);
            }
            fprintf(picture,"\n");
        }
        fprintf(picture,"\n");

/*-----*/
/**/Show Matrix V
fprintf(picture,"V Matrix      \n");
fprintf(picture,"_____ \n");
        fprintf(picture,"  cloumn :\n");
        fprintf(picture,"Row : ");
        for(int j=0;j<1;j++)
        {
            fprintf(picture,"%6d",j);
            fprintf(picture," ");
        }
        fprintf(picture,"\n");
        for(int i=0;i<rry;i++){
            fprintf(picture," %d : ",i);
            for(int j=0;j<1;j++){
                fprintf(picture," %f          \t",V[i][j]);
            }
            fprintf(picture,"\n");
        }
        fprintf(picture,"\n");
/*-----*/

```

```

/*//Show Matrix X
printf(picture,"X Matrix          \n");
printf(picture,"_____ \n");
printf(picture,"Tranformation Parameter :\n");
    printf(picture,"  cloumn :\n");
    printf(picture,"Row : ");
    for(int j=0;j<1;j++)
    {
        printf(picture,"%6d",j);
printf(picture,"  ");
printf(picture,"%6d",j);
    }
    printf(picture,"\n");
    for(int i=0;i<ccx;i++){
        printf(picture," %d :  ",i);
        for(int j=0;j<1;j++){
printf(picture," %f  ",ADX[i][j]);
printf(picture,"  ");
printf(picture," %f          ",X[i][j]);
printf(picture,"  ");
printf(picture," %f          ",XO[i][j]);
        }
printf(picture,"\n");
    }
    printf(picture,"\n");

/*-----*/
/*    //Show error unit weight
printf(picture," SIGTWO=%f          \n",SIG_TWO);
printf(picture," SIG=%f          \n",SIG);
/*-----*/

    /*//Show error of unknow
printf(picture,"Standard error of unknow :\n");
printf(picture,"  cloumn :\n");
printf(picture,"Row : ");
    for(int j=0;j<ccx;j++)

```



```

        {
            fprintf(picture,"%3d",j);
        fprintf(picture,"      ");
    }

    fprintf(picture,"\n");
    for(int i=0;i<ccx;i++){
        fprintf(picture," : ");
        for(int j=0;j<ccx;j++) {
            fprintf(picture," %.5f      ",QXX[i][j]);
        }
        fprintf(picture,"\n");
    }
}

/*-----*/
// Show VTPV
fprintf(picture,"VTPV = %f \n",VTPV[0][0]);
/*-----*/

/*Show ATPV */
for(int i=0;i<show_ccx;i++) {
    for(int k=0;k<1;k++){
        fprintf(picture,"A_TV[%d][%d] = %f \n",i,k,A_TV[i][k]);}
}
fprintf(picture,"*****End*****\n"); loopadj+=1;
//End adj lsm
//Load data lsm to center
for(int i=0;i<ccx;i++) paraadj[i]=ADX[i][0];
}
center_lsm(paraadj);
loopadj=0;setparalsm();
}
}

void process::center_lsm(double paraadj[ ])
{
double solparalsm[8];
loop_center=0;

//input coordinate in tranformation
fprintf(picture,"No loop = %d\n",loopadj);

```

```

fprintf(picture,"+++++++\n");
fprintf(picture,"Parameter of Least Square Matching :\n");
for(int i=0;i<8;i++)
{
solparalsm[i]=paraadj[i];
fprintf(picture,"parameter=%f\n",solparalsm[i]);
}
for(int i=0;i<8;i++)fprintf(picture,"paralsm[%d]=%f\n",i,solparalsm[i]);
oxcross=xcglsm[loopxycg];oycross=ycglsm[loopxycg];
fprintf(picture,"x=%f y=%f \n",oxcross,oycross);
txcross=solparalsm[0]+(solparalsm[1]*oxcross)+(solparalsm[2]*oycross);
tycross=solparalsm[3]+(solparalsm[4]*oxcross)+(solparalsm[5]*oycross);
fprintf(picture,"Coordinate of Fiducial Mark :\n");
fprintf(picture,"x=%0.2f Pixel \n",txcross);
fprintf(picture,"y=%0.2f Pixel \n",tycross);
fprintf(picture,"***** End LSM *****\n");
loopxycg+=1;
}
void process::pvonedede_allocate(unsigned char **pvone)
{
for (int i = 0; i < rowpic_t; i++)
delete[] pvone[i]; // STEP 1: DELETE THE COLUMNS
delete[] pvone; // STEP 2: DELETE THE ROWS
}
void process::pvtwode_allocate(unsigned char **pvtwo)
{
for (int i = 0; i < rowpic_s; i++)
delete[] pvtwo[i]; // STEP 1: DELETE THE COLUMNS
delete[] pvtwo; // STEP 2: DELETE THE ROWS
}
void process::pvtwolsmde_allocate(unsigned char **pvinsertwo)
{
for (int i = 0; i < rowpic_s; i++)
delete[] pvinsertwo[i]; // STEP 1: DELETE THE COLUMNS
delete[] pvinsertwo; // STEP 2: DELETE THE ROWS
}

```

```
}  
void process::pvoneccde_allocate(unsigned char **pvonecc)  
{  
    for (int i = 0; i < rowpic_s; i++)  
        delete[] pvonecc[i];          // STEP 1: DELETE THE COLUMNS  
    delete[] pvonecc;                // STEP 2: DELETE THE ROWS  
}  
void process::xgradientde_allocate(float **xgradient)  
{  
    for (int i = 0; i < rowpic_t; i++)  
        delete[] xgradient[i];       // STEP 1: DELETE THE COLUMNS  
    delete[] xgradient;              // STEP 2: DELETE THE ROWS  
}  
void process::ygradientde_allocate(float **ygradient)  
{  
    for (int i = 0; i < rowpic_t; i++)  
        delete[] ygradient[i];       // STEP 1: DELETE THE COLUMNS  
    delete[] ygradient;              // STEP 2: DELETE THE ROWS  
}
```



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ธีระ ลีลิตวรางกูร

เกิดวันที่ 3 มีนาคม 2520

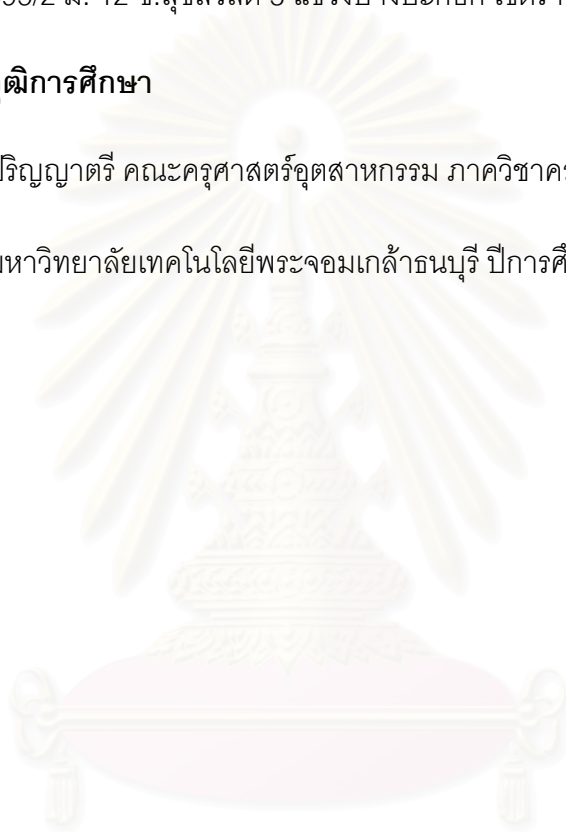
ที่อยู่

495/2 ม. 12 ซ.สุขสวัสดิ์ 3 แขวงบางปะกอก เขตราชบุรีบูรณะ กทม. 10140

วุฒิการศึกษา

ปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์โยธา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปีการศึกษา 2541



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย